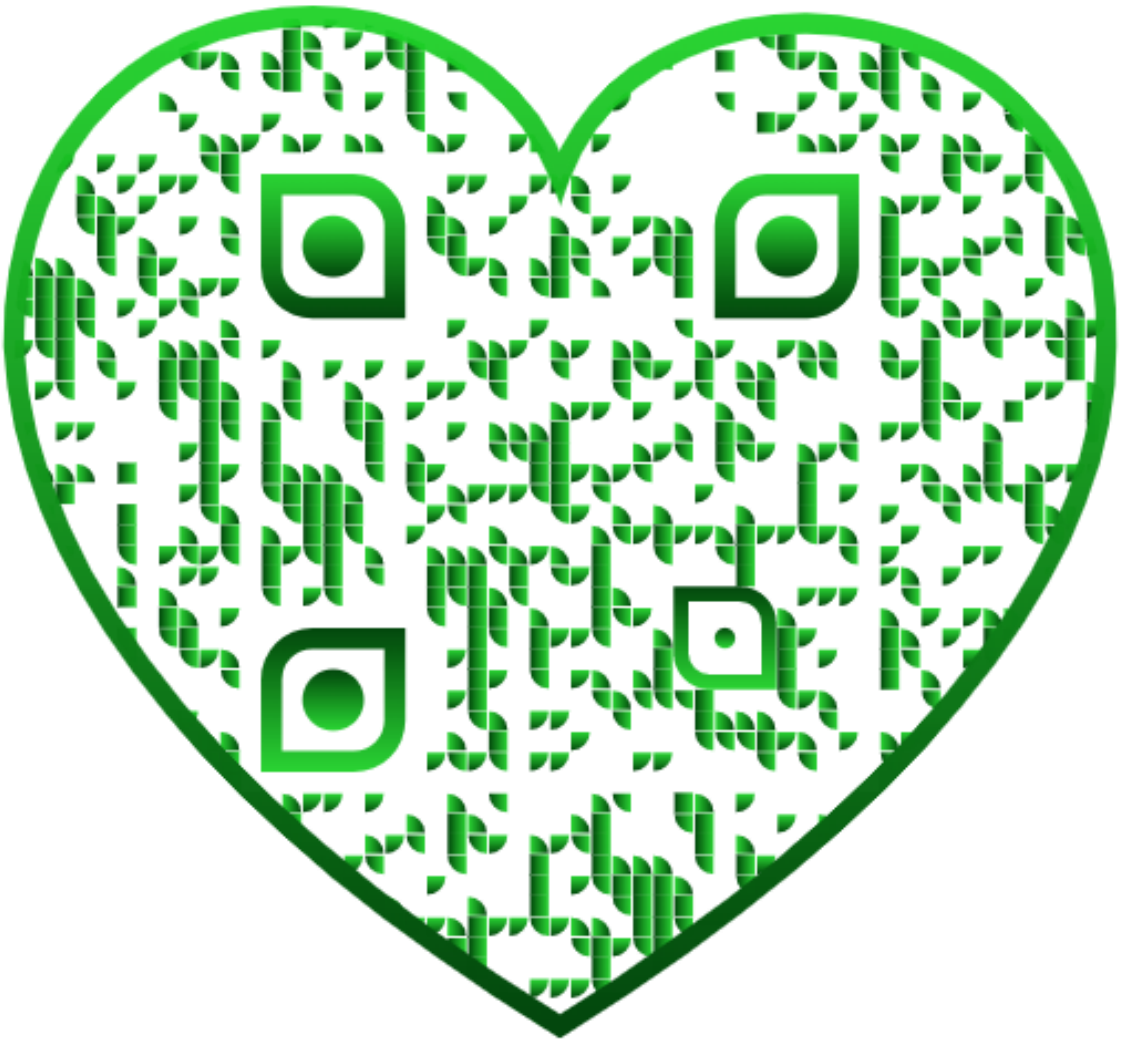
Agrodok 6

Topographie simple de construction pour des applications rurales

Jan H. Loedeman

SHOUT
SHARE
IT



© Fondation Agromisa, Wageningen, 2005.

Tous droits réservés. Aucune reproduction de cet ouvrage, même partielle, quelque soit le procédé, impression, photocopie, microfilm ou autre, n'est autorisée sans la permission écrite de l'éditeur.

Première édition : 2002
Deuxième édition : 2005

Auteur : Jan H. Loedeman
Editor : Eva Kok
Traduction : Josiane Bardon
Imprimé par : Digigrafi, Wageningen, Pays-Bas

ISBN : 90-8573-004-X

NUGI : 835

Avant-propos

A l'automne 1996, Agromisa m'a demandé de l'aider à trouver un auteur qualifié pour la révision de la première version de ce manuel, publié en 1990 ; je me sentais mis au défi de communiquer certaines de mes propres idées sur le topographie. Comme toujours, il s'est écoulé un certain temps entre la naissance du projet et sa réalisation, mais plusieurs sources d'inspiration m'ont aidé à le mener à bout.

Le soutien constant que m'a manifesté la directrice de publication d'Agromisa Marg Leijdens et son successeur Margriet Berkhout a joué un rôle décisif. Je leur suis reconnaissant de la confiance qu'elles m'ont accordé sans relâche. Je tiens également à remercier Johan Boesjes, président de la GITC bv, dont le soutien financier a permis la correction des épreuves de mes textes. Sans le dévouement immédiat de Kate Ashton, ce travail n'aurait jamais été fini à temps. Kate a également joué le rôle de lectrice de référence bénévole. J'ai ressenti un grand soulagement lorsque mon collègue et ami Marc Chieves (tm) géomètre expert aux États-Unis et rédacteur en chef du magazine Professional Surveyor (tm) a approuvé mon traité sur ce sujet. Je ne suis pas prêt d'oublier le trait d'esprit par lequel il m'a communiqué son opinion.

Mon séjour en 1972, dans la région de Khroumir au nord-ouest de la Tunisie a constitué une source d'inspiration très riche. Lors de ma présence parmi eux pendant cinq mois, ils m'ont peu à peu fait comprendre que certains aspects essentiels des pratiques d'agriculture de subsistance ne se prêtent guère aux mesures dans le sens le plus littéral du terme. A leur tour, ces hommes illettrés mais compétents et intelligents, ont peu à peu compris le pouvoir intellectuel des mesures combinées à des modèles et des calculs. La réalisation de ce manuel constitue un humble hommage que je leur rends, à eux et à leurs collègues dans d'autres régions du monde.

Wageningen, le 17 décembre 2000

L'auteur

Sommaire

1 Introduction : champ et structure 5

2 La topographie de construction dépasse le cadre de la mise en carte 10
2.1 Présentation de la topographie de construction 10
2.2 L'étude topographique d'un site 13
2.3 Critères que doit remplir une carte de site 19
2.4 Implantation d'un projet de construction 24
2.5 Comment faire en cas d'erreurs ? 29

3 Méthodes et techniques topographiques 39
3.1 Établir des longueurs et des angles dans deux plans 39
3.2 Matérialisation d'éléments géométriques 47
3.3 Mesure d'une longueur sur une ligne: "chaînage" 56
3.4 Application d'angles droits (90°) horizontaux 61
3.5 Traitement des angles non-droits sur un plan horizontal 69
3.6 Application d'angles droits (90°) sur un plan vertical 73
3.7 Traitement des angles de pente 79

4 Niveler à l'aide d'un instrument 84
4.1 Concepts 84
4.2 Équipement 86
4.3 Méthodes 95
4.4 Prévention des erreurs et précision 100

5 Une bonne pratique de la topographie, résumé 104

Bibliographie 107

Glossaire 108

1 Introduction : champ et structure

La majorité des agriculteurs dans le monde pratiquent encore une forme d'agriculture de subsistance. On ne peut comparer leur utilisation des animaux de trait et leurs méthodes agricoles basées sur le travail manuel avec les techniques d'agriculture de précision entièrement mécaniques et hautement automatisées qui deviennent la norme pour bien de leurs collègues d'Amérique du Nord. C'est pourquoi, le terme "agriculture" est beaucoup trop général pour être vraiment explicite.

On peut sans doute en dire autant du terme " topographie ". Un géomètre moderne ne peut plus se passer d'un ordinateur qui lui permet d'accomplir en un clin d'oeil des opérations mathématiques complexes, à partir de données de mesure obtenues à l'aide d'un équipement sophistiqué et hautement automatisé. La même technologie permet à un engin de terrassement de creuser un canal ou d'aménager une pente en terrasses automatiquement, selon la forme spatiale conçue géométriquement par ordinateur et transférée au système de navigation et d'exploitation de la machine. Mais, comme toutes les formes d'agriculture, la topographie est basée sur quelques concepts génériques indépendants de la technologie utilisée pour les mettre en pratique.

A qui s'adresse (ne s'adresse pas) Agrodok 6

Cette brochure est destinée à ceux qui s'intéressent, pour quelque raison que ce soit, aux techniques de mesure liées aux "constructions et bâtiments" dépassant le cadre de celles qu'applique un charpentier. Ils sont censés connaître au moins quelques notions des principes de base de la géométrie. Bien qu'une connaissance factuelle de la branche des mathématiques appelée "géométrie plane" ne soit pas indispensable, elle facilitera la compréhension de la plupart des sujets présentés.

Cette brochure n'est absolument pas conçue comme un manuel d'instructions détaillées, présentées dans le style d'un livre de cuisine. Bien qu'elle contienne quelques "recettes" par souci de clarté, elle

laisse trop de place à l'imagination du lecteur pour qu'on puisse la considérer comme un manuel de topographie. Elle n'a tout simplement pas été rédigée dans ce but, ni pour servir d'outil de formation des géomètres. Son objectif est d'aider les gens à comprendre quelques principes de base de la topographie en général.

Les thèmes abordés (ou non) par Agrodok 6

Les techniques de topographie présentées dans cette brochure ne sont utilisées par aucun géomètre professionnel. Cela semble énigmatique et peu réaliste, mais c'est en fait tout le contraire. Pour saisir les principes de la topographie, il est plus important de comprendre le raisonnement du géomètre, que d'apprendre à faire comme lui. Dans une perspective historique, la topographie se caractérise par un haut degré de spécialisation professionnelle, qu'on retrouve dans le type d'activités qu'effectuent les géomètres et la formation qu'ils reçoivent à divers niveaux professionnels.

Pour les grands travaux de construction, ce sont ceux qui ont eu le niveau le plus bas de formation qui effectuent la plupart des mesures. A ce niveau, il n'est pas nécessaire d'expliquer ou de connaître certains principes essentiels de base. En effet, la distribution du travail fait qu'ils sont abordés à un niveau plus élevé de l'organisation, celui du contrôle du processus des études topographiques. C'est pourquoi la plupart des manuels traitant de techniques topologiques " simples " ne sont guère à même de fournir une vue d'ensemble de ces concepts et de ce processus. D'autre part, à un niveau de formation supérieur, la topographie est abordée à partir des mathématiques. Mais même à ce niveau, on présente les méthodes et les techniques une par une, sans aborder l'ensemble du processus d'une étude topographique de A à Z.

Lorsqu'on veut présenter une introduction à la topographie, on se heurte également au problème plus générique de la liaison entre deux "mondes" complètement différents. Le travail du géomètre, sur un chantier de construction par exemple, est clairement visible et ressemble assez à celui du charpentier et de l'ouvrier du bâtiment : il prend des mesures à l'aide d'un instrument. Cela concerne " le monde réel "

de la topographie. Mais la liaison entre les mesures individuelles et la cohésion de ces actions reposent sur un “ monde abstrait “ obéissant aux lois de la géométrie et d’autres branches des mathématiques.

Les modèles géométriques se trouvent au cœur de toute étude topographique. C’est pourquoi, les problèmes topographiques génériques et leurs solutions exigent un passage du monde réel, où s’effectuent les mesures, au monde abstrait des modèles géométriques, où les données obtenues sont utilisées et mises en relation. Ensuite, les résultats des opérations mathématiques doivent être transférés à nouveau dans le monde réel, sur le terrain ou sur une feuille de papier. Et comme sur le plan pratique, la topographie est, ou devrait être, dans une large mesure une question d’entraînement sur le tas, la distinction entre le monde réel et le monde abstrait devient vite confuse.

Cette brochure est une tentative de présenter la topographie sous une forme générique en appliquant des concepts géométriques, mais sans utiliser les mathématiques. Sans rejeter systématiquement les idées abstraites, nous avons cependant opté pour une ligne de pensée pratique. La topographie de construction offre un cadre très pratique et une illustration claire et compréhensible de ce qu’est la topographie. Cela justifie le titre de cet Agrodok, bien que ce n’en soit pas le sujet principal. Le terme “ simple ” du titre exprime le fait que le niveau technologique des mesures abordées est “ intelligible ” et “ compréhensible ” ; il n’implique absolument pas une approche simpliste ou naïve.

Contenu et structure d’Agrodok 6

La meilleure façon d’apprendre la topographie est d’être formé sur le tas par un géomètre professionnel. C’est un peu comme pour apprendre à monter à cheval ou à chameau, il est impossible de s’en sortir en se contentant d’étudier un livre sur le sujet. Comme c’est le cas pour de nombreux métiers, il faut beaucoup d’entraînement. On rencontre de plus certains écueils et obstacles impossibles à affronter sur le papier ; il peut s’agir de la reconnaissance d’un chantier de construction dont il faut effectuer l’étude topographique, ou de la prise de notes

claires et méthodiques sur le terrain, ou le niveau de détails que doit fournir cette étude pour d'une construction spécifique.

Le Chapitre 2 explique ce qu'est la topographie de construction (Sec. 2.1). Son objectif principal est de réaliser une construction sur un site et pas simplement d'établir des cartes (Sec. 2.2). Toutefois, dans certains cas, la carte d'un site peut se révéler utile à l'établissement d'un plan ou à la réalisation d'une construction, à condition qu'elle remplisse certaines conditions (Sec. 2.3). Pour mettre en place une construction sur un site, il faut inverser le processus de mise en carte, en utilisant les mêmes techniques topographiques utilisées pour établir la carte du site (Sec. 2.4). Des erreurs risquent de se glisser à n'importe quel stade de l'étude. Cependant, la prévention des erreurs et leur détection en temps voulu constituent la base de toute " bonne pratique topographique " (Sec. 2.5).

Le Chapitre 3 commence par expliquer de quelle façon dans une étude topographique, l'espace du monde réel est relié à un espace mathématique artificiel, qui se divise lui-même en deux espaces " plats " : le plan horizontal et le plan vertical. Dans l'espace réel, on mesure deux sortes de quantités géométriques : les longueurs entre les positions et les angles entre les directions. Il faut ensuite les mettre en corrélation géométriquement dans un espace mathématique. Et inversement, il faut que les quantités géométriques soient littéralement réalisées sur un site avant de pouvoir commencer à construire. (Sec. 3.1). C'est la raison pour laquelle il faut matérialiser les points et les lignes sur le site de construction, de manière temporaire ou permanente (Sec. 3.2). On utilise des appareils pour mesurer les distances séparant les positions, le long des lignes topographiques (Sec. 3.3). Pour mesurer avec précision des différences de hauteur (longueurs verticales) le long de longueurs horizontales importantes, on a besoin d'un instrument de nivellement. (Ce sujet sera traité séparément dans le chapitre suivant). On se sert des angles droits et non droits pour déterminer ou placer des directions horizontalement (Sec. 3.4 & 3.5) et verticalement (Sec. 3.6 & 3.7).

Le Chapitre 4 traite de l'utilisation et de la construction d'un instrument de nivellement. Ce sujet pourrait à lui seul faire l'objet d'un traité de la longueur de cette brochure. Dans le cadre limité de ce chapitre, il a fallu se limiter aux concepts de base du nivellement (Sec. 4.1) et à la description de l'équipement le plus courant (Sec. 4.2). Faute de place, nous n'avons pas présenté d'applications ; nous nous sommes contentés de présenter très brièvement quelques méthodes (Sec. 4.3) en y ajoutant des éléments de prévention des erreurs (Sec. 4.4).

Le Chapitre 5 présente en deux pages un résumé des " bonnes pratiques topographiques " en liaison avec les méthodes et techniques exposées dans les Chapitres 2, 3 & 4. C'est la seule partie de la brochure qui se présente sous la forme d'une suite de recettes.

Un glossaire comporte la description de la plupart des termes techniques utilisés dans cet Agrodok.

Vous ne trouverez pas de bibliographie, une liste de livres rédigés en néerlandais ne présentant que peu d'intérêt pour des lecteurs francophones. Nous l'avons remplacée par des conseils de " Lectures annexes " et par les références bibliographiques de deux livres en anglais qui ont servi de base à cet Agrodok.

2 La topographie de construction dépasse le cadre de la mise en carte

2.1 Présentation de la topographie de construction

“ Construire ” signifie “ édifier ” ou “ mettre ensemble ”. L’objectif de la topographie de construction est de réaliser les mesures topographiques nécessaires à la réalisation d’une construction sur un site. Il peut s’agir d’une route, d’une école, d’un canal, d’un barrage de retenue ou d’une autre construction de ce type. C’est en fonction à la fois de la construction et du site que l’on décide des mesures à relever et de la méthode à utiliser.

Méthodes de construction

Pendant des millénaires, l’homme a réussi à édifier des constructions un peu partout dans le monde sans faire aucune étude topographique. Il a ainsi construit des ponts, des systèmes d’irrigation, des terrasses, des barrages pour retenir l’eau et toutes sortes de bâtiments. Bien que la construction de ces structures n’aient pas nécessité de mesures topographiques, il fallait tout de même qu’elles soient bien proportionnées. On y parvenait en suivant une méthode de construction qui consiste à “ dimensionner pendant la construction ”.

Toutefois, lorsqu’une construction doit être réalisée selon un plan, la méthode de construction à suivre est la “ construction d’après le plan ”. Quand on veut réaliser une construction sur un site selon un plan précis, il faut procéder à des mesures topographiques pour que le plan soit réalisé correctement. Les grandes pyramides d’Egypte qui ont été construites “ selon le plan ”, il y a plusieurs millénaires, en sont un bon exemple de l’Antiquité. Des cultures indiennes, aujourd’hui disparues, ont également réalisé des constructions impressionnantes en Amérique Centrale et du Sud. Malgré leur taille et leur complexité, les techniques topographiques utilisées étaient très simples en comparai-

son avec les normes modernes. Cette simplicité technologique se retrouve également dans les nombreuses constructions édifiées par les Romains dans toute l'Europe du Sud et de l'Est, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord.

La conception d'une construction

Pour faire les plans d'une construction, il faut déterminer les dimensions qui correspondront bien à l'usage que l'on va en faire. Un canal d'irrigation, par exemple doit avoir une pente et une coupe transversale bien précises de façon à ce qu'un courant d'eau dont la vitesse et l'écoulement sont déterminés à l'avance, puisse y circuler. Un pont doit avoir une travée précise et sa construction doit lui permettre de résister au poids du trafic prévu. Un barrage de retenue dont la hauteur est fixée à l'avance, doit être suffisamment solide pour résister à la pression de l'eau qui s'exercera contre lui. Il faut qu'une école prévue pour contenir un nombre précis de salles de classe, dispose d'un espace suffisant pour y placer le nombre de tables et de chaises nécessaires.

La carte d'un site ne suffit pas à elle seule à décrire géométriquement un site. Elle ne restitue en effet qu'une description horizontale du lieu. Dans de nombreux cas, il est également nécessaire de connaître les données géométriques verticales. C'est possible grâce à ce qu'on appelle les " sections ".

Le dessin ou le croquis d'un projet de construction

Un plan montre les dimensions implicitement, telles qu'elles sont contenues dans le graphique. On utilise une échelle et une grille composée de case égales pour indiquer les dimensions. C'est très différent d'un dessin de construction. Dans un dessin de construction, toutes les mesures et dimensions nécessaires doivent figurer explicitement sous forme numérique.

Cette façon de procéder garantit la fiabilité du dessin qu'on utilisera pour réaliser la construction. Certaines parties seront fabriquées séparément et une fois assemblées sur le chantier, elles doivent s'adapter

parfaitement. Les dimensions doivent être précises, à quelques centimètres ou même millimètres près. Il serait très difficile d'obtenir cette précision en déterminant les dimensions des différents éléments à partir de calculs basés sur les mesures figurant sur un dessin et prises avec une simple règle. Ce serait d'abord peu pratique et fastidieux, mais surtout, l'utilisation d'une règle mettrait en cause la fiabilité de cette méthode. On courrait un grand risque de faire des erreurs, aussi bien au niveau des mesures que du calcul des dimensions réelles.

Ce qui a été dit à propos de la nécessité de faire un plan (à ne faire que si c'est absolument nécessaire) est également valable pour les dessins de construction. Étant donné le cadre rural de cette brochure, on fera rarement appel à des dessins de construction détaillés. La plupart du temps, il suffira d'utiliser un croquis indiquant les dimensions essentielles du projet de construction. Il faudra naturellement vérifier que le projet est bien réalisable sur le site prévu. Il s'agira donc de placer les dimensions fondamentales sur le site, tel que nous l'expliquons dans la Sec. 2.4.

Matériel de dessin

Le matériel de bureau et de dessin habituel conviendra bien pour dresser des plans et des dessins techniques. Il faut absolument disposer de crayons à mine dure et bien taillée. On a besoin d'une simple règle, indiquant de préférence les demi-millimètres, pour tracer des lignes droites et mesurer des dimensions sur le plan. Un compas permettra de dessiner des arcs à partir d'un rayon donné.

Pour obtenir un plan soigné, le mieux serait d'utiliser une feuille de papier blanc, mais les feuilles de papier quadrillé sont plus pratiques. On trouve du papier de bureau à carreaux d'un centimètre ou de 5 millimètres. Le plus pratique est encore le papier millimétré qui existe en plusieurs formats. Pour mesurer ou dessiner des angles sur le plan, on peut utiliser un rapporteur dont la graduation s'échelonne par degré ou de préférence par demi-degré.

Mise en carte, placement et mesure des profiles

Lorsque veut effectuer une étude topographique dans le cadre de la réalisation d'une construction, il faut distinguer trois étapes différentes:

- Pour préparer la construction, il convient tout d'abord de décrire le site sur le plan géométrique, à la fois horizontalement et verticalement, en effectuant des mesures topographiques. C'est ce qu'on appelle généralement la " mise en carte ", la description étant souvent fournie par une carte du lieu concerné. Mais l'utilisation d'une vraie carte n'est pas toujours nécessaire, comme nous le verrons dans la Sec. 2.2.

- Si le projet est construit à partir de dimensions " selon le plan ", on aura besoin d'une carte du site pour faire le plan de la construction. Mais si les dimensions sont déterminées au fur et à mesure de la construction, cette étape intermédiaire est inutile.

- Enfin, le plan de la construction doit être implanté sur le site aux dimensions réelles et selon la bonne position. Cela nécessite également des mesures topographiques.

2.2 L'étude topographique d'un site

L'établissement d'une carte du site est une tâche lourde et difficile qui s'ajoute à l'étude topographique. Il est donc très important de vérifier si c'est réellement nécessaire. Dans de nombreux cas, les notes et les croquis effectués pendant l'étude topographique du site seront suffisants pour permettre l'implantation d'un projet de construction. Il fait donc bien faire la distinction entre " l'étude topographique d'un site " et sa "mise en carte".

L'enregistrement des données dans un carnet de terrain

La carte d'un site s'effectue à partir des données enregistrées dans le carnet de terrain lors des mesures topographiques sur le site. Ce carnet comprend différents types de données :

- des croquis indiquant les caractéristiques principales du site et leur situation les unes par rapport aux autres, ainsi que les points et les lignes utilisés pour le levé topographique.
- des tableaux permettant d'ordonner les mesures enregistrées.
- des descriptions et des annotations facilitant l'interprétation et l'utilisation des données de mesure.
- des calculs pour vérifier et garantir l'exactitude des données de mesure.

Une carte du lieu ne peut révéler davantage d'informations que les données enregistrées dans le carnet de terrain. Mais les caractéristiques géométriques de ces deux représentations graphiques présentent de grandes différences, comme on le voit dans la figure 1 et figure 2.

Nécessité et fonction de la carte d'un site

En règle générale, plus le projet de construction est complexe, plus une carte du site s'avère nécessaire.

La réalisation d'une carte est un travail complexe et difficile. Si on ne peut pas s'en passer totalement, il faut se limiter au minimum indispensable : la description des points et des lignes topographiques utilisés pour mesurer le site, ainsi que les obstacles importants, s'il y en a. Ces points et ces lignes permettront d'effectuer un plan horizontal correcte de la construction. La carte doit indiquer les détails géométriques nécessaires, comme l'explique l'un des paragraphes suivants de cette section. S'il s'agit par exemple d'un projet de construction d'une école, la carte du site doit servir à :

- tracer correctement le plan des bâtiments sur la carte ;
- transférer ce plan de la carte sur le site.

Le tracé du plan est abordé dans un des paragraphes suivants de cette section. L'implantation d'un plan sur un site est traitée dans la Sec. 2.4. Le transfert consiste à transposer le projet sur le site " selon le plan ", c'est-à-dire au bon endroit et avec ses dimensions exactes en s'aidant des mesures topographiques.

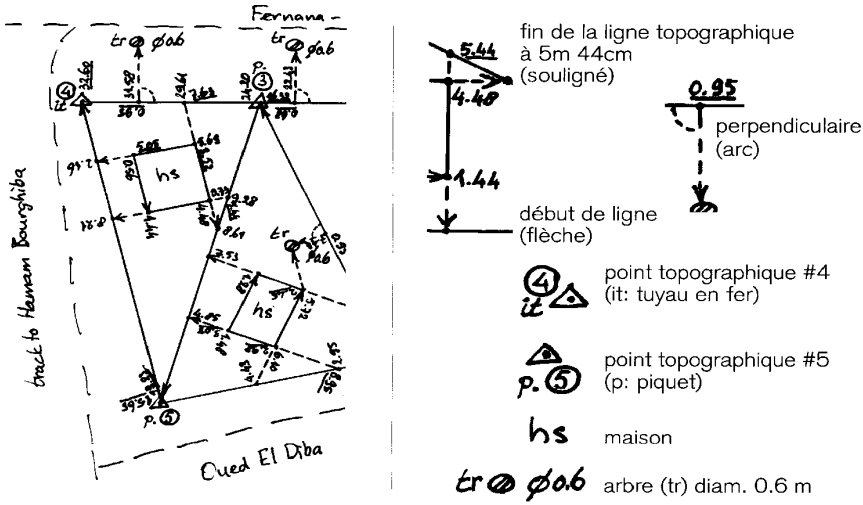


Figure 1 : Extrait d'un croquis de terrain imaginaire servant à réaliser une carte du site, voir la figure 2.

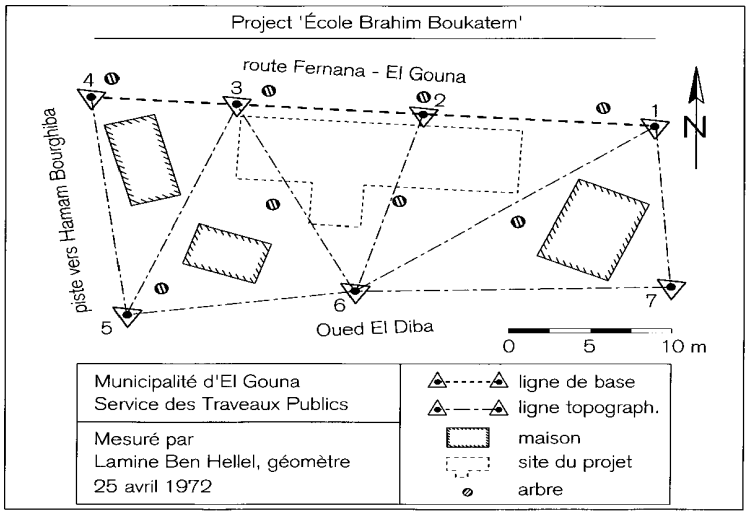


Figure 2 : Carte d'un site imaginaire obtenue à partir du croquis de terrain de la figure 1. On part du principe que la carte originale est à l'échelle 1:100.

La représentation de la hauteur à l'aide de symboles et de coupes

Une carte représente la géométrie d'un site à l'horizontal, elle ne donne pas d'informations sur la géométrie verticale. Pour indiquer la hauteur, on utilise trois types de symboles graphiques, voir la figure 3 :

- Un point ou un autre symbole du même genre, accompagné d'un nombre indiquant la hauteur dans une unité donnée, le mètre par exemple. Il indique les points du site qui sont à cette hauteur. C'est ce qu'on appelle une cote.

- Une ligne accompagnée d'un nombre indiquant la hauteur. Cette ligne représente tous les points du site situés à la même hauteur. C'est ce qu'on appelle une courbe de niveau.

- Un symbole graphique indiquant un changement brusque ou abrupt du terrain, tel qu'un talus, une excavation, un remblai ou un escarpement. Ce symbole n'est pas accompagné d'une information numérique.

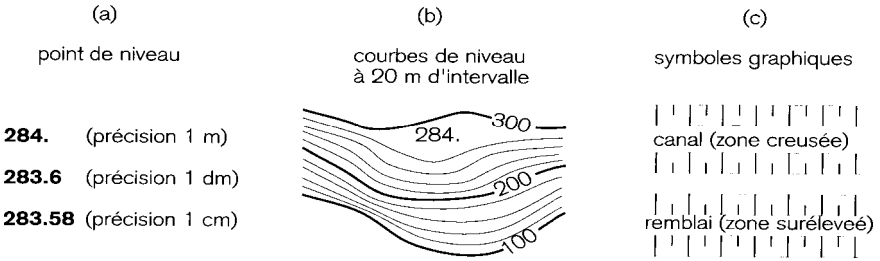


Figure 3 : Trois symboles graphiques représentant la hauteur sur une carte : (a) cote ; (b) courbe de niveau ; (c) symbole graphique.

Lorsqu'on prévoit par exemple de construire une route ou un canal, les informations de hauteur sous forme non-géométrique ne suffisent pas. Habituellement, on indique la hauteur par des mesures effectuées le long de différentes coupes. La position des coupes est indiquée sur la carte du site à l'aide de lignes symboliques, voir la figure 4.

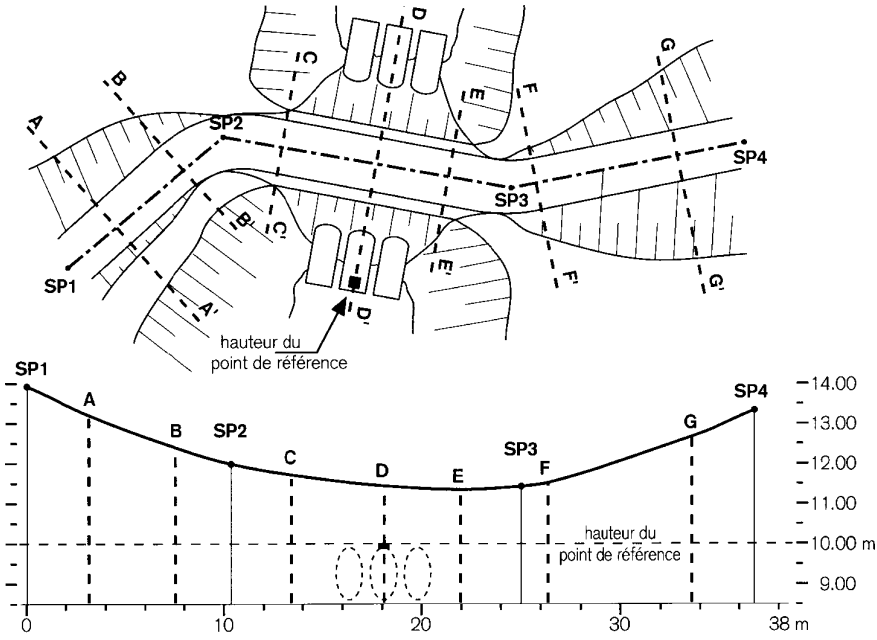


Figure 4 : (a) carte de site imaginaire représentant une route traversant un cours d'eau et trois buses. Les coupes sont indiquées par des lignes pointillées. (b) coupe longitudinale SP1 - SP4. (Les coupes transversales A-G sont représentées dans la figure 5.)

Pour représenter la hauteur le long d'une route ou d'un canal, on se sert de ce qu'on appelle une coupe longitudinale. Des coupes transversales perpendiculaires à la coupe longitudinale fournissent des informations complémentaires sur l'altitude. Ces coupes transversales sont indispensables pour déterminer les dimensions d'une route ou d'un canal en projet de construction (ou de reconstruction). Vous trouverez dans le Chapitre 4 la marche à suivre pour mesurer les coupes avec précision.

Une zone destinée à l'irrigation sera divisée en parcelles dont la surface devra avoir une pente régulière dans une direction précise. Lorsque la surface d'origine est plate et lisse, il faudra tout de même transformer le site pour égaliser les points trop élevés et ceux qui sont trop bas. En rasant les hauteurs et en comblant les creux on obtiendra la surface en pente régulière dont on a besoin. Un modèle de cotes bien réparties permet de calculer les coupes et les comblements à effectuer sur chaque surface d'irrigation. La technique du nivellement, que nous abordons dans le Chapitre 4, permet de déterminer ces cotes. La conception d'un plan d'irrigation comprenant les coupes et les comblements à effectuer par parcelle dépasse le cadre de cet Agrodok.

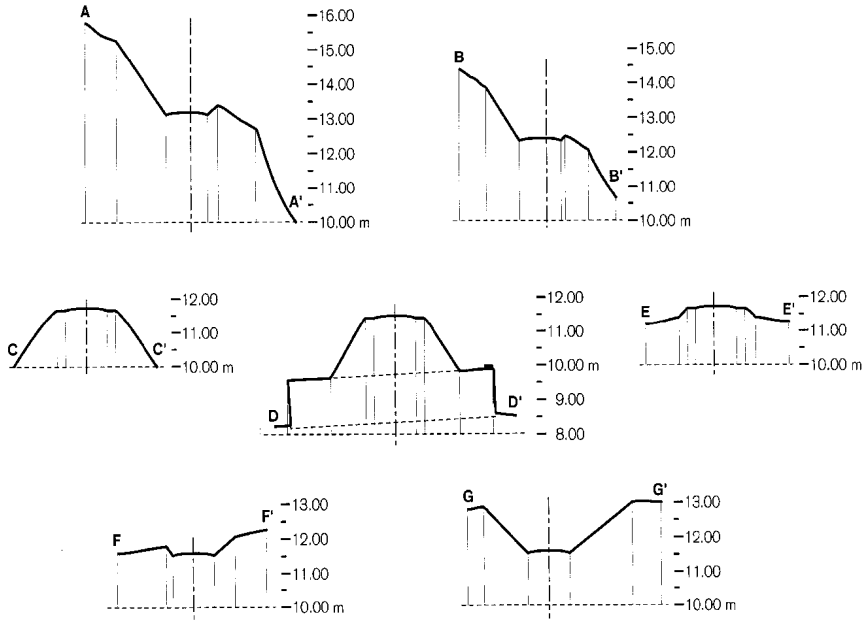


Figure 5 : Coupes transversales A - G de la coupe de la route SPI-SP2 sur la carte du site (Figure 4). L'échelle verticale est 2 fois supérieure à l'échelle horizontale afin de représenter les différentes hauteurs en détail.

2.3 Critères que doit remplir une carte de site

Géométrie d'une carte

La " mise en carte " d'un site est la description de ses caractéristiques principales selon leur forme, leur orientation et leur position relative, mais à une taille réduite. Le graphique qui en résulte représente un plan horizontal imaginaire indiquant les caractéristiques du site sous forme de points, de lignes et d'autres symboles graphiques. Cette description s'applique également à un croquis de terrain, mais la carte de site se différencie par ses caractéristiques géométriques.

Dans un croquis de terrain, un simple quadrilatère irrégulier suffit à représenter l'emplacement rectangulaire d'une maison, par exemple, mais à la condition expresse de disposer en plus de données de mesure permettant de reconstruire la forme et la taille réelle de la maison. Par conséquent, il est impossible de retrouver les formes et dimensions réelles d'une construction à partir d'un croquis de terrain, sans consulter des données de mesure complémentaires.

L'objectif essentiel d'une carte du site, c'est d'indiquer l'emplacement d'un projet de construction. Pour cela, il faut connaître la relation qui existe entre la géométrie réelle du site et celle que représente la carte. Le plus simple est de définir un facteur multiplicateur fixe entre les longueurs du site et celles de sa représentation réduite sur la carte. D'un point de vue mathématique, il faut donc que la géométrie d'une carte de site soit conforme à la géométrie (horizontale) du site, autrement dit, qu'elle reproduise la forme exacte de la moindre zone à une taille réduite. Un croquis ne peut pas remplir cette condition.

S'il y a effectivement un facteur multiplicateur fixe entre les longueurs réelles et leurs représentations réduites, la carte est à une échelle uniforme, qui ne tient pas compte de la position ni de la direction. Voyons maintenant les applications possibles de ce concept d' " échelle d'une carte ".

“ Échelle ” opposé à “ facteur d’échelle ”

Le choix de l’échelle se fait en fonction des détails nécessaires et de l’utilisation de la carte. Par exemple, si l’on doit représenter le trajet d’un canal d’irrigation de 2 hectomètres (200 m) de long sur une carte de format A4, le graphique ne peut dépasser une zone de 20 fois 30 centimètres. Le parcours de 2 hm doit être réduit à moins de 30 cm pour entrer dans le cadre d’une feuille A4, il faut donc prévoir un facteur de réduction de “ 200 m à 30 cm ”, qui se traduit sur la carte par une échelle graphique, voir la figure 6. Une échelle de ce genre ne peut être utilisée que graphiquement et elle est surtout pratique lorsque le rapport s’exprime de “ km en cm ”, par exemple.

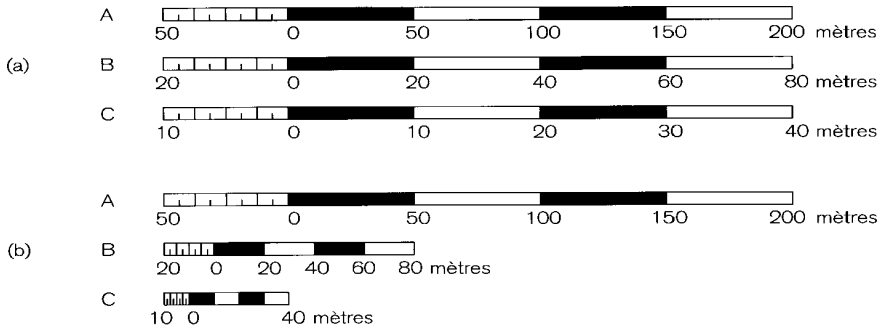


Figure 6 : Trois échelles graphiques (a) chacune à l’échelle de la carte correspondante, A étant la plus petite échelle et C la plus grande ; (b) toutes trois à l’échelle de A.

Pour permettre une mise en carte précise, il vaut mieux se servir d’un facteur de réduction que d’une échelle graphique, mais alors une formule du style “ 2 hm pour 3 cm ” est plutôt difficile à utiliser concrètement. Tout d’abord, la fraction obtenue, égale à 0,06667 (soit 2 : 30), est numériquement plutôt arbitraire et peu pratique. De plus, le rapport “ hm/cm ” montre que cette fraction est liée à un certain type d’unité de mesure et n’est donc pas applicable à d’autres unités.

Il est d’usage d’exprimer l’échelle d’une carte par un facteur de réduction sous la forme d’un chiffre rond, indépendant de toute unité de mesure. Dans l’exemple ci-dessus, on obtient ce type de chiffre en

remplaçant l'unité " kilomètre " par l'unité " centimètre ". En effet, la longueur physique d'un hectomètre est égale à 10 000 fois celle d'un centimètre. Le rapport devient alors " 20 000 cm pour 3 cm ". Les deux longueurs sont maintenant exprimées dans la même unité (cm) et on obtient donc un facteur de réduction indépendant de toute unité de mesure et égal à 667 (une fois arrondi au nombre entier le plus proche). Ce nombre est peu pratique pour la conversion des longueurs réelles du site en longueurs correspondantes sur la carte, et vice versa. Il est préférable d'utiliser un " chiffre rond " par exemple 1 000 dans ce cas-là. Il en résulte que 2 hm sur le site correspondent à 20 cm sur la carte.

Les qualificatifs " supérieur " et " inférieur " appliqués à des échelles risquent de prêter à confusion. Un facteur de réduction de 1 000 est supérieur (il donne une plus grande réduction) au facteur 667. Le premier représente le site à une échelle inférieure à celle du dernier. Numériquement, une échelle représente un rapport nettement inférieur à 1. Un rapport de 1 à 1 000 (ou 1/1 000, ou 1:1 000) est égal à la fraction décimale 0,0010 qui est effectivement 1,5 fois inférieure à la décimale de la fraction 1/667 (0,0015).

On peut éviter ce genre de confusion en faisant une distinction entre l'échelle, qui est une fraction dans le numérateur est 1, et le facteur d'échelle ou facteur de réduction, qui est le dénominateur de cette fraction. Par conséquent, une échelle de " 1 sur s " est égale à " 1 divisé par le facteur de réduction s ", soit S = 1:s = 1/s.

Précision appropriée d'une carte

Pour représenter géométriquement un tronc d'arbre d'1 mètre de largeur par exemple, sur une carte à l'échelle1/10 000, il faudrait tracer un cercle d'un diamètre de 0,1 mm, ce qui est impossible. Même à une échelle vingt fois supérieure (1/500), le cercle ne dépasserait pas 2 mm. Il est clair, par conséquent, qu'on ne peut pas représenter géométriquement tous les détails d'un site.

Des professionnels expérimentés obtiennent une précision géométrique de mise en carte de 0,2 mm au mieux en utilisant un équipement et du matériel de dessin spécialisé. On ne peut prétendre obtenir un tel

résultat dans le cadre de cet Agrodok. En se servant d'un matériel de bureau et de dessin habituel, on peut s'attendre à une précision de l'ordre de 1,0 mm.

A une échelle de 1/500, une précision d'1 mm correspond à 500 mm, soit 0,5 m, sur le terrain. Si une carte dont la précision ne dépasse pas 1,0 mm doit représenter des détails de construction de l'ordre de 0,1 m, on peut se demander s'il ne vaudrait pas mieux utiliser une échelle au 1/100. Ce n'est généralement pas le cas, car la carte d'un site n'a pas pour fonction de représenter des détails de la construction. Elle est avant tout destinée à reproduire le site de construction et non la construction elle-même. Les détails doivent être présentés à part et très précisément par un schéma de construction, que nous aborderons plus loin. Le but de la carte d'un site est, comme nous l'avons vu précédemment, de dessiner et de situer l'emplacement d'une construction par rapport aux caractéristiques existantes du site et avec " le niveau approprié de détails ". On choisira l'échelle en fonction du site et du plan de la construction. Nous illustrerons ce point dans le paragraphe suivant, en prenant pour exemple un projet d'école entourée de quelques maisons.

Échelles appropriées

Supposons que les dimensions du projet d'école soient de 25,3 mètres de long sur 7,1 mètres de large. Ces nombres décimaux signifient que l'indication géométrique du contour du projet a une précision de 0,1 mètre, ou 100 millimètres. Si l'on décide d'utiliser une échelle de 1/500, il faudra diviser les dimensions réelles de l'école par 500 pour pouvoir en tracer le plan sur la carte. En millimètres, les dimensions extérieures de ce projet sont de 25 300 mm sur 7 100 mm. Réduites à l'échelle de la carte, elles mesurent 25 300 mm/500mm sur 7 100/500mm, soit 50,6 mm sur 14,2 mm. Ces résultats montrent que pour obtenir une représentation géométrique exacte sur une carte, il faut que la précision cartographique soit supérieure à 0,1 mm. C'est impossible à obtenir dans la réalité, puisque que la précision escomptée est dix fois inférieure (autour de 1 mm). De plus, il n'est pas nécessaire d'avoir une précision de 0,1 mm pour que la carte d'un site remplisse l'objectif recherché.

Supposons qu'on ait choisi le site pour l'ombre que projettent quelques grands arbres dans la zone où doit se construire l'école. Les troncs doivent êtres distants " d'au moins quelques mètres " du bâtiment. Bien que cette référence manque de précision, elle indique implicitement qu'une précision " supérieure à un mètre " sera suffisante pour déterminer l'emplacement du bâtiment par rapport aux arbres. Il faudra peut-être abattre certains arbres.

Si l'on a une précision cartographique d'1 mm, le facteur de réduction devra être " inférieur à " 1 m pour 1 mm. Un mètre étant égal à 1000 fois 1 millimètre, le facteur de réduction devra être " inférieur à 1000 ". Par conséquent, l'échelle devra être supérieure à 1/1000. Une échelle à 1/500 conviendrait bien à ce projet, car elle permettrait une représentation du site avec une précision de 0,5 mètre, soit cinq cent fois la précision cartographique. Ce serait nettement insuffisant pour une représentation géométrique précise des détails de la construction, mais comme nous l'avons souligné auparavant, ce n'est pas la fonction d'une carte. Les dessins de constructions nécessitent une échelle comprise entre 1/25 et 1/100.

Résumé des critères que doit remplir une carte de site

Chaque carte est faite dans un but très précis qui se retrouve dans les caractéristiques de la carte, notamment les éléments qui la composent et son échelle. Les cartes pouvant avoir des fonctions différentes, il est impossible de définir des critères généraux. La liste suivante concerne les cartes utilisées pour la topographie simple de construction.

Caractéristiques générales

- Titre, date et " auteur " de la carte ; nom et location du site
- Explications concernant l'objectif de la carte et son contenu dans une " cartouche "

Éléments géométriques

- Échelle et échelle graphique
- Flèche indiquant le nord ou autre référence physique à l'orientation
- Points topographiques marqués indiquant les lignes topographiques, points de référence

Symboles graphiques

- Présentation graphique claire permettant une lecture aisée
- Utilisation logique des symboles de points, lignes et zones
- Utilisation des signes et des couleurs selon les conventions

Un bon moyen de se familiariser avec les cartes et leur élaboration est d'examiner toutes celles qui vous tombent sous la main, qu'elles soient de bonne qualité ou non.

2.4 Implantation d'un projet de construction

L'implantation d'un projet de construction sur le site prévu nécessite les mêmes techniques et outils topographiques que la mise en carte de ce site, mais les objectifs sont différents :

- *La mise en carte concerne les mesures topographiques relatives aux caractéristiques déjà existantes du site.*

- *L'implantation concerne les mesures topographiques relatives aux caractéristiques que l'on doit ajouter au site.*

Ainsi, il convient de marquer les points d'angle du bâtiment de l'école sur le site à l'aide de piquets et de perches aux positions physiques prévues, en tenant compte des éléments du site existants, tels que des arbres, de grands rochers, des maisons, une route, etc. De plus, il faut mettre les sols à niveau et à la hauteur prévue en fonction de la surface du site.

Il est nécessaire d'effectuer des mesures topographiques pour établir un lien géométrique entre les caractéristiques du site et le plan de la construction. Comme nous l'avons vu dans la Sec. 2.1., il y a deux méthodes permettant de réaliser une construction : on peut la "dimensionner pendant la construction " ou la " construire selon le plan ". Dans le premier cas, il est inutile de réaliser un plan réel comprenant des dessins techniques. Une carte du site n'est pas non plus nécessaire. Il suffit d'avoir un croquis où figurent des indications de position et

d'orientation du projet de construction sur le site, comme nous l'avons vu dans la Sec. 2.2. Il faut se contenter de prendre les mesures qui concernent la forme et les dimensions de la construction.

La situation est très différente et bien plus complexe lorsque le projet doit être " construit selon le plan ". Dans ce cas, il faut établir un lien géométrique entre le plan et le site avant le début de la construction. Ce lien dépend de la description géométrique du site. S'agit-il d'un croquis de terrain ou d'une carte du site ? Essayons d'y voir plus clair.

Utilisation d'un simple croquis de terrain

La géométrie d'une carte est conforme au site correspondant, tandis qu'un croquis de site ne l'est pas, c'est ce qu'illustrent les différences géométriques entre la figure 1 et la figure 2. Il est impossible de déterminer le lien géométrique existant entre un croquis et le site en mesurant les longueurs sur le croquis à l'aide d'une règle, car l'absence d'une échelle ne permet pas de traduire les longueurs réelles à partir des mesures obtenues sur le graphique. La solution consiste à faire le croquis à l'échelle, ce qui revient à le transformer en carte du site. Nous allons aborder cette solution dans le paragraphe suivant.

Par contre, il est inutile d'effectuer une mise en carte minutieuse lorsque l'emplacement de la construction est évident, ou lorsque le site est une surface plane et presque vide. Dans ce cas, on déterminera la bonne position et orientation de l'emplacement sur le site. La mise en carte se limitera à tracer une ligne topographique sur le dessin du projet qui servira de ligne de base au piquetage du plan sur le site. On peut éventuellement s'assurer de la justesse de cette ligne en utilisant deux repères permanents. Toutes les autres longueurs et dimensions figurant sur le dessin du projet seront déterminées sur le site à partir de cette ligne de base.

Utilisation d'une carte du site

Cependant, dans tous les cas où l'on ne peut pas établir librement la position et l'orientation d'un emplacement sur un site au début de la construction, il sera nécessaire de disposer d'une carte de site. C'est

vraiment la meilleure approche dans le cas où la situation du site est compliquée ; elle permet de s'assurer de la justesse du lien géométrique existant entre le plan et la situation sur le site. Cela nécessite une approche en deux étapes.

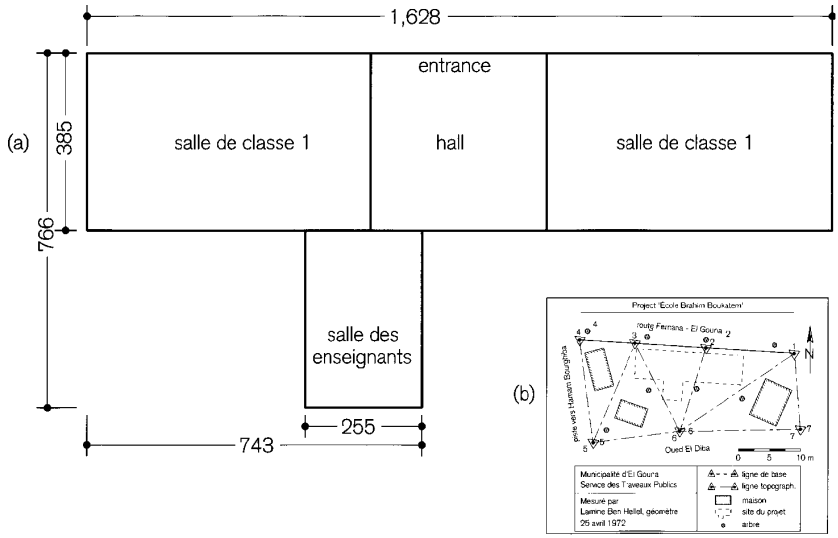


Figure 7 : Exemples imaginaires et simplifiés du plan d'un projet (a) et d'une carte de site (b). Avant d'intégrer le croquis à la géométrie de la carte, il faut le réduire à l'échelle de la carte.

Étape 1 : du dessin du projet à la carte du site

La première étape de la mise en place du projet consiste à transférer le dessin du projet à la carte du site. En général, ils ont des échelles différentes, voir la figure 7. Par conséquent, il faut commencer par réduire le plan à l'échelle correspondante, avant de l'intégrer à la carte. C'est une opération simple, voir la figure 8 :

- Reproduisez exactement le plan sur une feuille de papier à la même échelle que la carte.
- Découpez le schéma.
- Placez le plan sur la carte dans la zone prévue.
- Une fois que le plan est à la bonne position, collez-le sur la carte.

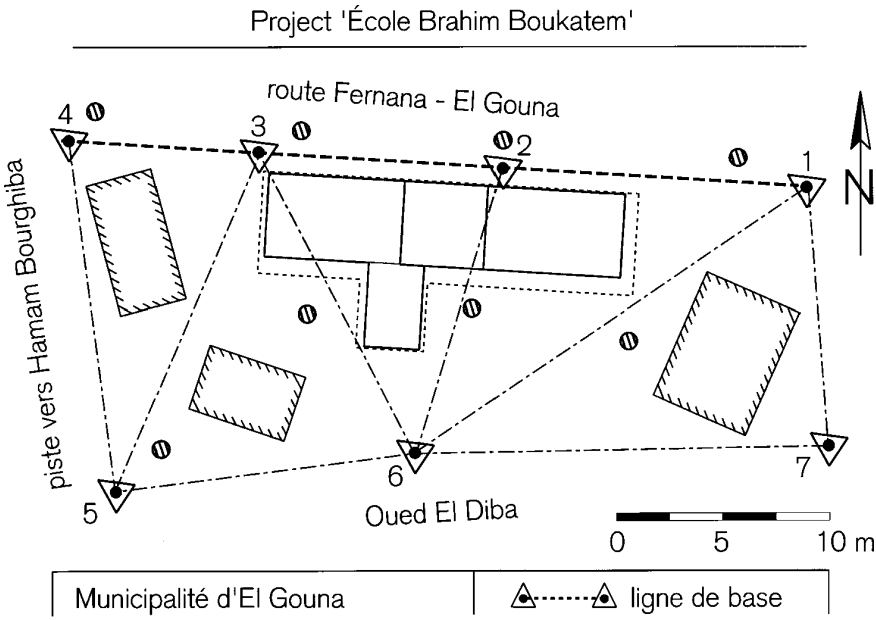


Figure 8 : Emplacement réduit à l'échelle de la carte et placé au bon endroit dans la zone prévue. (On suppose que la carte originale a une échelle de 1:100).

Supposons que le plan doive être placé parallèlement à la ligne de base de la carte. Il en résulte que la carte et le plan sont liés graphiquement, mais pas encore géométriquement. Cette corrélation est indispensable pour pouvoir mettre en place le projet sur le site selon le plan de la figure 8.

Étape 2 : de la carte du site à des dimensions qui puissent être mises en place

Il faut trouver la relation géométrique requise pour l'implantation en se servant des points topographiques marqués physiquement sur le site et que l'on avait utilisés auparavant pour déterminer les lignes topographiques, lors de la mise en carte du site. Ces points topographiques figurent sur la carte (Figure 2 et figure 8). La construction d'une relation géométrique entre le plan et le site part de la ligne de base qui

passe par les points 1-2-3-4 et aboutit au graphique indiquant les mesures réelles à reporter le long des lignes topographiques du site, voir la figure 9.

Le report du plan se fait en plusieurs étapes. On commence par relier les huit points d'angle du plan (Figure 8) à la ligne de base à l'aide de quatre lignes perpendiculaires. On numérote les extrémités (11-12, 21-22, 31-32 et 41-42). On indique à l'aide d'arcs en pointillés les angles droits. Puis on ajoute les lignes pointillées 13-43, 14-44 et 25-35.

Le " point de départ " de la construction de lignes topographiques et le point topographique SP3, déjà défini. A partir de ce point, la première ligne topographique suit la ligne de base en passante par le point SP2 et aboutit au point 41. (Dessiner des lignes continues pour indiquer les lignes topographiques et marquer le début de chaque ligne par une flèche). On place ensuite les quatre lignes perpendiculaires qui démarrent en 11, 21, 31 et 41. Les deux dernières sont les lignes 44-14 et 35-25. On ajoute enfin les trois lignes topographiques diagonales (14-21, 24-35 et 31-44) pour vérifier après la mise en place si les angles sont vraiment droits.

Avant de pouvoir évaluer les mesures à reporter le long des lignes topographiques, il faut d'abord déterminer la position et l'orientation du contour extérieur. On y parvient facilement en se servant de la distance séparant SP3 de la ligne 11-12 et de celle séparant les deux lignes parallèles SP3-SP2 et 13-43. On mesure ces deux distances avec une règle sur la carte qu'on a tracée (Figure 8), puis on multiplie chacune d'entre elles par le facteur d'échelle de la carte. Par exemple, si la carte est à l'échelle 1/100 et si les distances mesurées sont respectivement de 3 mm et de 6 à 7 mm, les longueurs à reporter seront de 0,30 m et de 0,65 m.

Enfin, toutes les autres mesures à reporter peuvent être déduites de ces deux distances et des dimensions figurant sur le plan, voir la figure 7. Il en résulte la figure 9.

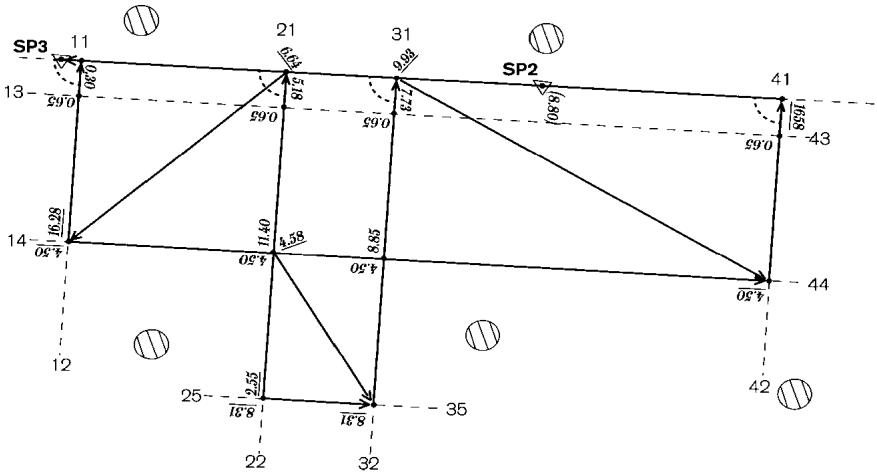


Figure 9 : Graphique montrant le lien géométrique existant entre le plan de la figure 8 et le site de construction. (Le plan de l'école ne figure pas sur le graphique, par souci de simplification). Le graphique indique les lignes topographiques et les mesures dont on a besoin pour reporter le plan sur le site. Le texte fournit des explications sur les lignes topographiques et la détermination numérique des mesures.

2.5 Comment faire en cas d'erreurs ?

Les mesures topographiques sont notoirement sujettes à erreur, c'est pourquoi il faut tenir compte des inexactitudes éventuelles. Lorsqu'on s'occupe de topographie, il est essentiel d'éviter ou de corriger les erreurs. Mais toutes les inexactitudes ne peuvent être considérées comme des erreurs. Pour y face efficacement, il faut arriver à comprendre d'où viennent les erreurs et quelles sont leurs conséquences potentielles.

Il faut bien distinguer deux types d'inexactitudes qui affectent les mesures topographiques :

- Les erreurs réelles que l'on peut éviter. Il faut empêcher qu'elles se produisent, ou du moins les remarquer et si possible les évaluer et les corriger.

- Les écarts normaux se produisant lors des mesures et dus au manque de précision des techniques et des instruments utilisés. Ils sont donc inévitables et ne constituent pas des erreurs imputables à une " faute ".

Imprécisions normales et bévues involontaires

La capacité humaine à faire des erreurs est inimaginable. Il est donc impossible de dresser une liste de toutes les erreurs qui risquent de se produire lors de mesures topographiques de construction. Heureusement, on peut les classer en un nombre limité de types d'erreurs.

> La plupart des imprécisions anormales proviennent d'erreurs involontaires. Les géomètres les appellent des « bévues ». La détection des bévues est un élément essentiel de tout travail de topographie.

Les inexactitudes acceptables

L'idéal serait qu'elles soient le seul type d'erreurs. Nous expliquerons plus loin pourquoi nous préférons parler de " précision de mesure ".

> Généralement : plus l'équipement est simple et moins les mesures effectuées seront précises.

L'équipement n'a pas fonctionné correctement

Il est rare qu'on puisse se rendre compte de l'extérieur si un appareil ou un instrument fonctionne correctement ou non. Un appareil défaillant donne involontairement des données de mesure erronées. En général, plus l'équipement est simple et moins il y aura de chances pour qu'il fonctionne mal. Mais même l'appareil le plus simple nécessite des précautions et de l'entretien. Un contrôle régulier du matériel est indispensable à " une bonne pratique de la topographie ".

L'équipement n'a été utilisé correctement
Dans les mains d'un non-professionnel, il est peu probable que même l'équipement le plus précis et le mieux entretenu donne des résultats exacts. L'équipement simple de topographie doit être utilisé correctement, ce qui est souvent une tâche complexe, comme nous le verrons dans les Chapitres 4 et 5. Plus l'équipement est compliqué à utiliser, plus il risque de provoquer des erreurs. Cela n'implique pas d'ailleurs qu'un équipement complexe techniquement soit difficile à utiliser. C'est même le contraire. Les instruments informatisés modernes de topographie sont à la fois très précis et très faciles à utiliser. Malheureusement, ils n'entrent pas dans le cadre de cet Agrodok, de par leur complexité technique et leur prix.

Les données de mesure n'ont pas été enregistrées correctement
Il arrive fréquemment qu'on fasse une erreur en retranscrivant les données d'un instrument de mesure. Ces fautes d'inattention sont difficiles à repérer pendant le travail sur le terrain. Dans cette catégorie d'erreurs d'enregistrement, on trouve les omissions dues à une mauvaise retranscription des mesures ou à un manque de concentration professionnelle pendant le travail.

Il faut transcrire les mesures de sorte qu'on puisse détecter et éliminer les données erronées sans avoir besoin de reprendre des mesures. Pour cela il faut qu'on puisse comprendre non seulement qu'il y a une erreur, mais également où elle se situe.

Les calculs n'ont pas été effectués correctement
Les erreurs de retranscription se produisent également souvent pendant le traitement des données de mesures, que ce soit graphiquement (carte), ou à l'aide de calculs (géométrie). La plupart des erreurs de calcul sont en effet des erreurs de notation. La grande différence avec les erreurs qui se produisent au niveau de l'enregistrement des données de mesure, c'est la possibilité de contrôle. On peut vérifier un calcul et le corriger en cas de nécessité, mais on ne peut améliorer une mauvaise transcription de mesure, même si on l'a détectée. Au mieux,

on pourra remplacer cette donnée lorsqu'on disposera de données de mesure redondantes.

La méthode de travail à suivre pour éviter les erreurs en matière de topographie est un peu celle qui est nécessaire pour obtenir une bonne comptabilité. Des termes comme " fiabilité ", précision et exactitude fréquemment utilisés dans ce domaine sont également des principes de base de la topographie. Le paragraphe suivant développe ces termes pour aboutir à l'introduction d'un concept très important, celui de "redondance" qui est développé dans le dernier paragraphe de cette section.

L'exactitude est un mélange de "précision" et de "fiabilité"

Il faut que le résultat des mesures soit exact. Mais cette exactitude a deux aspects. L'un est la " précision " qui est liée aux différences de résultat (dispersions) qu'on obtient en reprenant plusieurs fois des mesures de longueur, par exemple. L'autre est la fiabilité, qui indique si le résultat d'une série de mesures correspond bien à la réalité et si on peut s'y fier ou non.

Les résultats d'un test de tir permettent d'illustrer facilement les notions de précision et de fiabilité. Il est impossible de savoir si le viseur d'un fusil est déréglé ou non avant d'avoir fait un test de tir sur une cible comme celle de la figure 10. Elle présente les résultats de 4 séries de 10 tirs exécutés par un tireur expérimenté utilisant deux types de fusil : un normal et un fusil de précision.

Les figures montrent que les impacts d'un fusil de précision sont moins dispersés que ceux d'un fusil normal, mais que cela ne garantit pas qu'ils atterriront plus souvent dans le mille. Comme le montrent les résultats, on ne peut pas tirer d'une manière fiable avec un fusil de précision si son viseur est déréglé : un seul des dix tirs a atterri dans le mille, contre trois avec un fusil normal, dont le viseur est également faussé. Une fois les viseurs réajustés, 9 des tirs avec le fusil de précision ont atterris dans le mille, alors qu'avec le fusil normal il n'y en a toujours que 3. L'ensemble des résultats montre que les deux fusils

sont également fiables. Le dérèglement a visiblement disparu puisque la position moyenne des 10 tirs des deux fusils se trouve au centre de la cible.

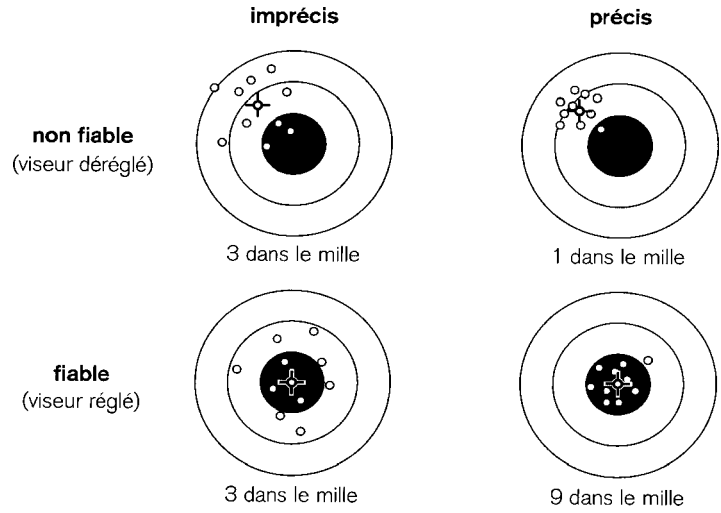


Figure 10 : Les concepts de " précision " et de " fiabilité ""peuvent être illustrés par un test de tir exécuté pour vérifier et corriger le viseur d'un fusil normal peu précis et celui d'un fusil de précision. La dispersion sur la cible d'une série de dix tirs montre la précision du fusil ; leur position moyenne (indiquée par une croix) détermine la fiabilité du viseur.

On retrouve la même chose dans la pratique de la topographie : l'utilisation d'un instrument précis ne garantit pas forcément un résultat conforme à la réalité, en cas d'erreur systématique. On risque de ne pas la repérer, car si l'on effectue les mesures plusieurs fois, la dispersion des résultats donne seulement une indication de la précision. Mais le résultat moyen ne peut révéler une erreur systématique qui a la même influence sur chaque mesure, de même qu'un viseur déréglé a des conséquences sur chaque tir de fusil. Une erreur systématique ne peut être détectée que par une série de mesures de référence indépendantes, ou en utilisant un repère de référence tel le centre de la cible

dans un test de tir. Dans la pratique topographique, il est quasiment impossible de prendre un point de référence pour chaque mesure.

Heureusement, dans les études extensives de topographie, on utilise la géométrie appliquée qui est basée sur des règles de mathématiques. L'application de ces règles permet de détecter les erreurs systématiques et les fautes d'inattention dans une série de données de mesure. L'astuce, c'est d'utiliser davantage d'éléments géométriques (longueurs et angles) pour résoudre un problème géométrique, que le nombre minimum requis d'un point de vue mathématique. Ainsi, le nombre d'éléments géométriques est " surnuméraire " (mais absolument pas superflu), ce qui donne une " redondance " de la construction géométrique. Dans ce contexte, " redondant " signifie " en grande quantité " ou " abondant " et non pas " non requis ", " inutile ", " indésirable ".

La détection d'une faute grâce à une redondance appropriée

On peut illustrer l'intérêt d'une géométrie redondante par l'exemple du remplacement d'une porte manquante (Figure 11a). Il faut vérifier la forme et la taille de la nouvelle porte en effectuant des mesures sur le chambranle restant, dont les montants sont droits. Un mètre à ruban de menuisier de deux mètres permet de mesurer les dimensions du chambranle avec une précision de quelques millimètres. Le menuisier devra diminuer légèrement les dimensions obtenues pour éviter que la porte ne se coince dans le chambranle. Pour cela, il a besoin d'un mètre millimétré.

La vérification de la hauteur et de la largeur uniquement suffirait si le chambranle était exactement rectangulaire. Le menuisier se méfie et vérifie si les deux montants verticaux ont la même longueur. Il en fait de même avec les deux parties horizontales. Les mesures révèlent effectivement que les quatre côtés ont des dimensions différentes. Mais ces mesures ne suffisent pas à elles seules à déterminer la forme de la porte. Notre menuisier résout ce problème en mesurant la dimension d'une diagonale, puis, en l'utilisant comme point de départ, il en déduit la forme et la taille de la nouvelle porte en se servant des mesures

du chambranle (b). Mais... la forme et la taille ainsi définies sont-elles bien fiables ?

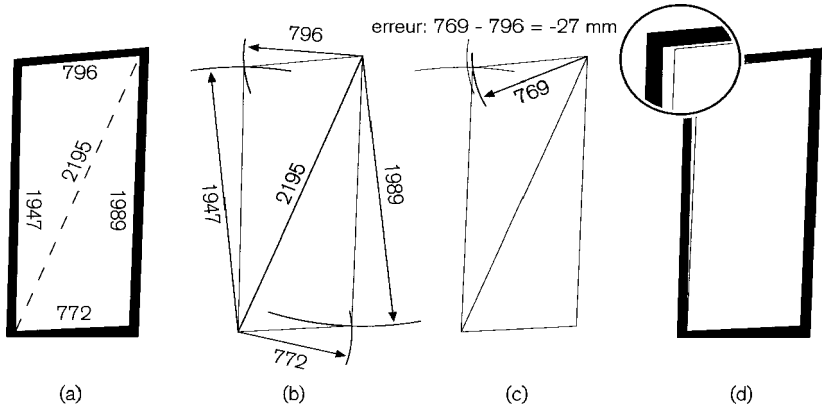


Figure 11 : Fiabilité géométrique expliquée graphiquement
(a) Un chambranle déformé nécessite une nouvelle porte. (b) Mesures (en mm) des quatre côtés uniquement ne permet pas de déterminer la forme correcte ; pour cela il faut également mesurer une diagonale. (c) Toutefois, une faute dans la dimension du côté supérieur ne peut être détectée. (d) L'erreur n'apparaît qu'au moment où l'on place la porte dans son cadre.
Conclusion : la construction géométrique ne comprend aucune redondance, la fiabilité est donc nulle.

Supposons que le menuisier mesure correctement la largeur en haut (796 mm) et en bas (772 mm). Supposons encore une fois qu'il note par inadvertance et sans le remarquer 769 au lieu de 796 comme largeur supérieure (c). Bien qu'il effectue les mesures deux fois, il ne découvre pas son erreur d'annotation. (Certaines personnes ont beaucoup de mal à déceler l'inversion de deux chiffres dans un nombre). Les mesures disponibles ne permettent aucun redondance dans la construction géométrique de la porte. Par conséquent, le menuisier ne peut pas découvrir que le côté supérieur de la porte est trop petit avant d'avoir placé la porte dans son cadre (d). Qu'aurait-il pu faire pour découvrir l'erreur pendant la construction de la porte ?

Si le menuisier mesure également la deuxième diagonale, cette dimension supplémentaire est surnuméraire, ce qui se traduit par une redondance géométrique, voir la figure 12a. En utilisant ces six dimensions pour déterminer dans son atelier la taille et la forme de la porte, il découvre qu'elles ne correspondent pas. La redondance de la construction géométrique le prévient qu'une erreur s'est glissée dans les dimensions notées. Mais la " faiblesse " de la redondance (une seule dimension surnuméraire) ne permet pas de déterminer quelle dimension est inexacte. C'est toujours la dernière dimension qui ne correspond pas, voir la figure 12b & c. Il est donc obligé de retourner vérifier les mesures du chambranle.

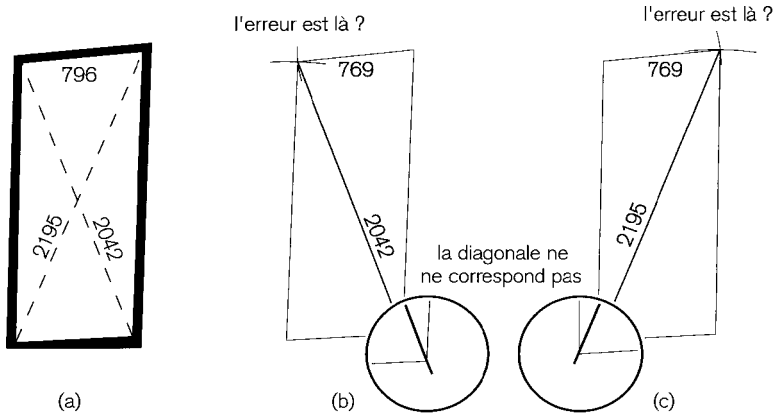


Figure 12 : Fiabilité géométrique expliquée graphiquement (suite). (a) L'addition de la mesure de la seconde diagonale révèle (b) l'existence d'une erreur, mais (c) l'erreur ne peut être localisée. Conclusion : il y a trop peu de redondance, la fiabilité est donc insuffisante.

Cela ne serait pas arrivé si notre menuisier avait pris davantage de mesures. C'est la solution. On ne s'occupe plus des diagonales et on ajoute deux lignes supplémentaires placées arbitrairement en fixant deux lattes droites sur le chambranle, voir la figure 13a. La première est placée à l'horizontale à l'aide d'un niveau de menuisier et l'autre à la verticale à l'aide d'un fil à plomb. Ces deux lignes divisent chaque

côté en deux parties (b). On mesure chaque partie ainsi que les deux lignes auxiliaires. La construction géométrique de la porte montre suffisamment de redondance.

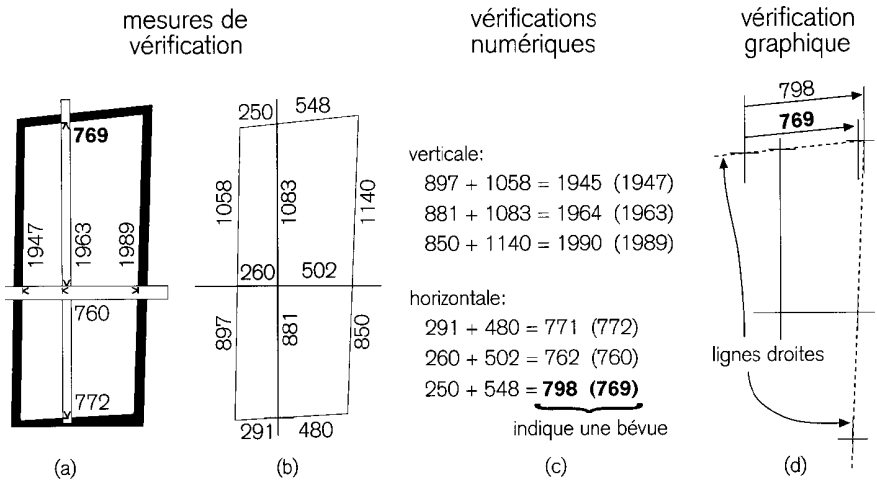


Figure 13 : Fiabilité géométrique expliquée graphiquement (conclusion)
(a) Deux lignes perpendiculaires remplacent les diagonales et permettent (b) d'améliorer le contrôle géométrique à l'aide de mesures auxiliaires. (c) On peut vérifier chaque mesure en se servant de deux autres mesures indépendantes. La dernière rangée révèle une erreur dans la relation entre les trois mesures. (d) Une vérification graphique montre que la mesure 769 est trop courte et qu'elle donc être erronée.
Conclusion : une redondance suffisante se traduit par une fiabilité satisfaisante.

Pour chaque côté, la somme des dimensions des deux parties doit être égale au chiffre obtenu en mesurant ce côté dans son entier. La vérification montrera qu'une erreur s'est glissée dans l'une des mesures du côté supérieur (c). Mais laquelle est erronée ? Un contrôle graphique des mesures le révélera (d). On commence par dessiner une croix formée de deux lignes perpendiculaires. On utilise les mesures notées

dans (b) pour construire les côtés de la porte. Chaque côté est déterminé par trois points que l'on note. Puisque les montants sont droits, ces trois points doivent former une ligne droite. Supposons que ce soit le cas, comme on le voit en (d). Le côté supérieur 250 + 548 = 798 se révèle correct. Par conséquent, la mesure 769 mm de (a) doit être inexacte et il faut l'éliminer. On note qu'en fait le menuisier l'avait mesurée correctement (796), mais qu'il avait noté par inadvertance le nombre 769.

Conclusion : veillez à avoir une "bonne pratique de la topographie"

L'analogie entre le problème de menuiserie que l'on vient d'étudier et les mesures topographiques apparaît clairement lorsqu'on remplace le chambranle par la carte du site de construction et la porte par le plan d'une construction prévue sur ce site. Le rôle que joue la redondance géométrique dans le travail topographique est précisément d'éliminer les erreurs sans avoir besoin à effectuer des mesures supplémentaires.

La topographie simple de construction ne constitue pas une exception dans ce domaine. La prévention des erreurs commence par un croquis de terrain précis du site indiquant clairement toutes les caractéristiques du site et les mesures effectuées. Ce croquis et les documents qui l'accompagnent forment la base géométrique du plan et de la construction. C'est pourquoi, pendant le travail sur le terrain, il faut toujours vérifier si les mesures permettent d'obtenir une redondance géométrique satisfaisante afin de pouvoir détecter et corriger les erreurs.

Enregistrer toutes les données importantes de manière méthodique dans un dossier bien détaillé, en utilisant de préférence des formulaires conçus à cet effet. Indiquer clairement tous les changements dans le dossier, de sorte que les données d'origine restent disponibles et lisibles. Il ne faut pas hésiter à multiplier les notes explicatives en y ajoutant des références aux données de mesures enregistrées.

Vous trouverez au Chapitre 5 un résumé de ce qui détermine " une bonne pratique de la topographie ".

3 Méthodes et techniques topographiques

Un processus d'étude topographique établit une relation entre l'espace réel et l'espace mathématique artificiel. Dans l'espace réel, deux sortes de grandeurs géométriques sont mesurées : les longueurs entre les positions et les angles entre les directions. Ces grandeurs doivent être mises en corrélation géométriquement dans l'espace mathématique. Inversement, les grandeurs géométriques doivent être littéralement tracées sur un site avant de pouvoir faire une construction (point 3.1). C'est pourquoi, il faut matérialiser les points et lignes sur un site de construction, que ce soit de manière temporaire ou permanente (Sec. 3.2).On utilise des outils pour mesurer les distances entre diverses positions sur une ligne topographique (Sec. 3.3). La mesure précise des différences de hauteur (longueur verticale) tout le long de lignes horizontales importantes nécessite l'utilisation d'un instrument de nivellement. (Ce sujet sera traité séparément dans le chapitre suivant). On se sert d'angles droits ou non-droits sont utilisés pour déterminer ou pour établir les directions sur un plan horizontal (Sec. 3.4 & 3.5) et vertical (Sec. 3.6 & 3.7).

3.1 Établir des longueurs et des angles dans deux plans

L'espace doit être décrit d'une façon relative

D'un espace réel à des plans abstraits

Dans l'étude topographique, l'espace physique dans lequel nous vivons (la réalité) est décrit d'une manière abstraite au moyen de deux plans mathématiques artificiels. Ces plans n'existent pas dans notre espace physique. L'un de ces deux plans est " vertical ", c'est à dire parallèle à la direction du fil à plomb. L'autre plan est perpendiculaire au fil à plomb, il est dit " horizontal " comme la surface d'un lac lorsque le temps est calme. En fait, la surface de l'eau n'est pas réellement

une surface plane mais il s'agit d'une surface à niveau qui suit la courbure de la terre, comme on peut le voir en observant la ligne d'horizon de l'océan. Cependant, pour ce qui est de la topographie de construction, la différence entre une telle surface à niveau (courbe) et un plan horizontal (plat) est négligeable. Le plan vertical est utilisé pour décrire la hauteur à laquelle une chose se trouve, et le plan horizontal sert à décrite " là " où se trouve une chose. Pour ces deux descriptions, on applique les mêmes concepts et conventions de géométrie.

Position et direction contre longueur et angle

Sur un plan mathématique, l'espace est décrit géométriquement par deux grandeurs : la position (" ici " ou " là ") et la direction (" d'ici à là "). De ce fait, une position ne peut être décrite que par rapport à une autre position. Il faut donc connaître les dimensions de deux grandeurs : la longueur du déplacement d'une position à l'autre et la direction de ce déplacement.

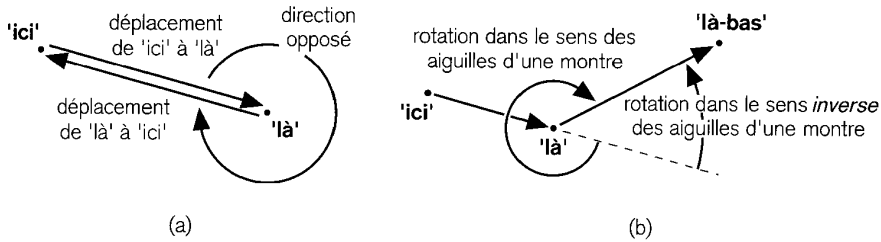


Figure 14 : Trois positions exprimées en relation l'une par rapport à l'autre au moyen d'une translation et d'une rotation : (a) " d'ici à là et retour "; (b) " d'ici à là et à là-bas ".

Un couple de positions détermine une direction. Bien que chaque direction soit ainsi déterminée de manière autonome, les directions doivent être en outre exprimées d'une manière relative, dès que plus de deux positions sont impliquées. Cette situation est toujours valable, à moins que les positions soient décrites de manière absolue, ce qui ne sera pas traité par cet Agrodok. Une rotation d'une position à l'autre s'appelle un angle. Voir la figure 14.

Unités de longueur physique

Chaque position relative, c'est à dire le déplacement (longueur) d'une position à l'autre, a une certaine dimension. Les longueurs doivent être rendues " comparables " en exprimant leurs dimensions dans une " unité de longueur physique ". Cette unité est " intégrée " dans les outils de mesure tels qu'une règle d'écolier ou un ruban d'arpentage pour un travail sur le terrain.

Les deux systèmes les plus répandus pour mesurer la longueur sont le système métrique (mètre, décimètre, centimètre) et le système des yards, pieds et pouces. Nous partons du principe que ces systèmes ne nécessitent pas d'explications. L'Agrodok utilise le système métrique.

Unités d'angles

Tous les angles doivent être exprimés dans la même unité. La manière la plus répandue de définir une unité angulaire consiste à diviser un cercle en quatre parties égales et de subdiviser chaque quart ainsi obtenu en quatre-vingt dix portions égales appelée degrés. Chaque quart équivaut à 90° et un cercle complet compte donc 360°. La subdivision d'un degré peut être exprimée en une fraction décimale, par exemple 34,23°, ou par une fraction sexagésimale de la même manière qu'une heure peut être divisée en minutes et en secondes. Dans le cadre de la topographie simple de construction, les angles sont mesurés avec une précision qui, au mieux, est de plusieurs dixièmes d'un degré ou de plusieurs dixièmes d'une minute. Dans ce cadre, cela n'a donc pas de sens de subdiviser les angles jusqu'au niveau des secondes.

En topographie, le " grade " et le " gon " sont souvent utilisés comme unité angulaire. Cette unité est basée sur une division en cent parties égales d'un quart de cercle, ce qui est noté 100g. Ainsi, on peut dire que 90° et 100g caractérisent tous deux un angle droit. Les subdivisions de 1g sont exprimées uniquement au niveau décimal. Dans cet Agrodok, seul le degré est utilisé comme unité angulaire.

Angles dans le sens des aiguilles d'une montre et angles dans le sens inverse des aiguilles d'une montre

Une rotation d'un point à l'autre peut être définie dans deux directions opposées. Si, par exemple, une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre est définie comme étant " positive ", une rotation dans le sens inverse sera " négative ". Voir la figure 15.

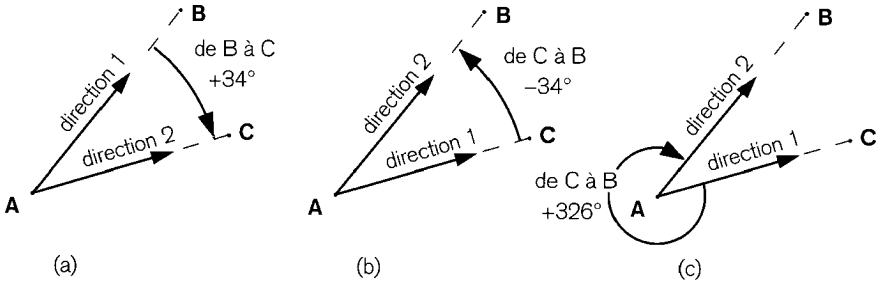


Figure 15 : Le point de départ choisi pour la rotation détermine l'angle de cette dernière. Malgré le fait que les angles de rotation de (b) et de (c) sont numériquement différents, les deux situations sont géométriquement identiques, puisque l'addition d'un cercle complet (360°) donne : (-)34° + 360° = 360° - 34° = 326°.

Si la direction A à C est choisie comme référence (" de ") alors l'angle différentiel entre A à C et A à B deviendra négatif, parce que l'angle de A à B est le plus petit des deux. L'angle dans le sens inverse des aiguilles d'une montre de " moins " (-) 34° peut être transformé en un angle dans le sens des aiguilles d'une montre, en ajoutant un cercle complet dans le sens des aiguilles d'une montre de (+) 360°, ce qui donne un angle restant dans le sens des aiguilles d'une montre de (+) 326°, voir figure 15c.

Angles horizontaux et verticaux

Sur un plan horizontal, la division d'un cercle complet en quatre parties égales fournit les quatre points cardinaux horizontaux du cadran d'une boussole : nord, est, sud et ouest. Le nord est la direction de référence pour exprimer les angles sur la boussole jusqu'à 360°, ces an-

gles sont appelés azimuts. Les azimuts dans le sens des aiguilles d'une montre sont définis comme " positifs " (Figure 16a).

Sur une surface plane, la division d'un demi-cercle en deux parties égales fournit trois points cardinaux orientés par rapport à la direction du fil à plomb : nadir (fil à plomb), horizon (perpendiculaire au fil à plomb), zénith (point le plus élevé du ciel et opposé à Nadir). Les angles sont exprimés de deux manières différentes : d'une part, par des angles zénithaux à partir du zénith (0° à 180°) et d'autre part par des angles verticaux à partir de l'horizon (Figure 16b). Dans ce dernier cas, les angles " positifs ", au-dessus de l'horizon, indiquent une " élévation " (jusqu'à +90°) et les angles en dessous de l'horizon indiquent une dépression et sont qualifiés de " négatifs " (jusqu'à -90°).

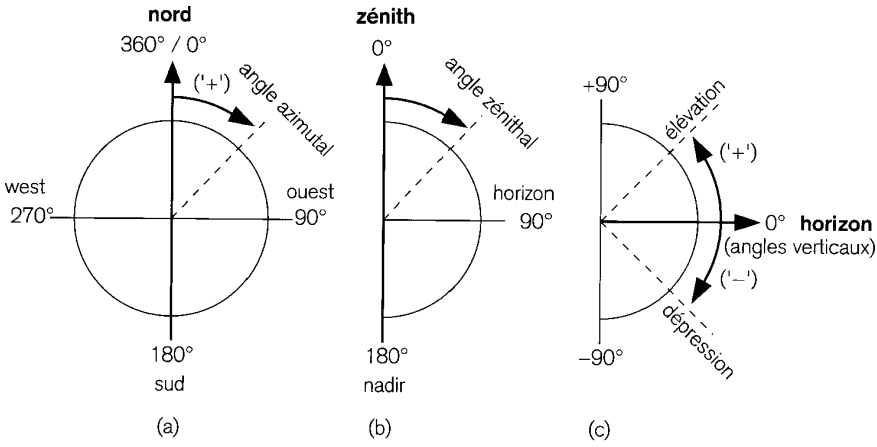


Figure 16 : Expression des angles : (a) Horizontalement par " l'azimut " à partir du nord. (b) Verticalement soit par " l'angle zénithal " du sommet du ciel ou (c) par l'angle vertical au-dessus (" élévation ") ou en dessous (" dépression ") de l'horizon.

Détermination des positions au moyen d'éléments géométriques

Constructions géométriques simples

Le problème le plus simple lors de l'étude topographique est de déterminer les positions relatives de trois points en construisant un triangle au moyen de longueurs et de directions. La figure 17a en montre un exemple. En partant de n'importe laquelle des trois positions, on retourne exactement à sa position de départ en construisant successivement les trois côtés du triangle avec les longueurs et les directions appropriées.

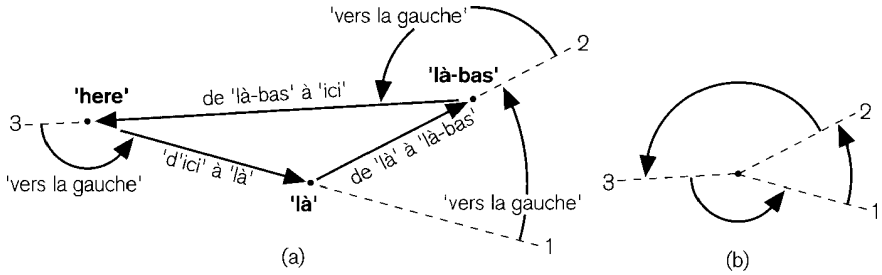


Figure 17 : Fermeture d'un triangle en " retournant au point de départ " après être passé par deux autres points. (a) Les trois translations et deux des trois angles de rotation forment un triangle fermé. (b) La somme des trois angles de rotation doit former un cercle complet.

Dans l'exemple, tous les angles sont à l'inverse des aiguilles d'une montre, mais tant que la direction de la rotation est prise en considération de manière numérique (par les signes " + " et " - "), il est possible d'utiliser indifféremment des angles dans ou contre le sens des aiguilles d'une montre. Mathématiquement, la somme des trois angles de rotation est exactement égale à un cercle complet, voir figure 17b.

Le polygone le plus simple est le rectangle. Lorsqu'un rectangle est construit au moyen de quatre longueurs successives et de directions différant l'une de l'autre de 90°, les quatre angles de rotation doivent

également former un cercle complet. Dans ce cas, cependant, les caractéristiques géométriques d'un rectangle impliquent une condition supplémentaire, à savoir que les longueurs opposées doivent présenter des dimensions identiques.

Constructions géométriques complexes

La construction de triangles reliés les uns aux autres (triangulation) et de polygones (polygonation) fait partie des concepts de géométrie de base de la topographie. L'utilisation de ces concepts étant une question de mathématiques appliquées, elle se trouve bien au-delà du champ de cet Agrodok. Cependant, certaines caractéristiques des triangles seront expliquées et mises en pratiques dans les sections suivantes de ce chapitre.

Affectation d'une base

Chaque direction doit être exprimée en référence à une autre direction, ce qui résulte en un angle " de-à " tel qu'illustré dans la figure 15 et la figure 16. Dans la pratique, cela implique qu'il faut commencer par déterminer la direction de l'une des longueurs avant de pouvoir définir un angle. Dans la topographie de construction, les directions horizontales sont rarement déterminées par rapport au nord, comme nous le verrons dans la section 3.5. En conséquence, pour toute longueur spécifique, la direction doit être fixée à une valeur arbitraire. Cette longueur est appelée la ligne de base et sa direction est la direction de référence. La base constitue, en quelque sorte, l'épine dorsale de toute la construction géométrique issue d'une étude topographique.

Le théorème de Pythagore (règle de 3-4-5)

Les angles droits (90°) sont largement utilisés tant dans les mesures topographiques servant à la réalisation de constructions que dans les constructions elles-mêmes, parce qu'ils peuvent être construits ou établis assez simplement. La construction de triangles rectangles sur site est abordée dans la section 3.4 (plan horizontal) et dans la section 3.6 (plan vertical).

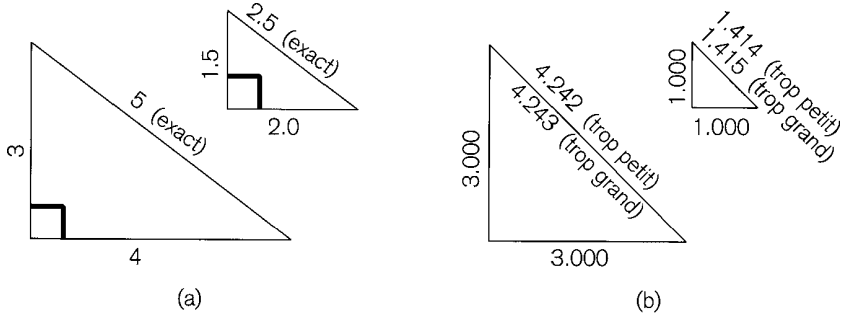


Figure 18 : (a) Les triangles présentant des côtés avec un rapport de 3:4:5 satisfont exactement au théorème de Pythagore. (b) Triangles presque rectangles qui ne coïncident pas exactement avec le théorème.

Il existe une méthode qui est basée sur une caractéristique unique des triangles rectangles exprimée dans le théorème de Pythagore. Ce théorème dit qu'un triangle est rectangle si le carré de la longueur de l'hypoténuse (le côté le plus long) est égal à la somme des carrés des longueurs des deux autres côtés. Ce théorème est représenté de manière courante par la règle de 3-4-5, voir figure 18 :

(3 x 3) + (4 x 4) = 9 + 16 = 25; et (5 x 5) = 25 également.

Tout triangle dont les côtés présentent le rapport de 3 : 4 : 5 répond au théorème de Pythagore. Un triangle dont le rapport entre les côtés est 3 000 : 3 000 : 4 242 n'est pas un triangle rectangle pour la raison suivante :

(3 x 3) + (3 x 3) = 18; mais (4 242 x 4 242) = 17 994 et non 18 000 !!

Bien que cette conclusion soit incontestable, elle n'est pas idéale d'un point de vue topographique, ce que nous expliquerons plus loin.

Unités de mesure significatives et décimales qui font la différence
Un triangle rectangle doit être tracé dans l'espace physique réel d'un site de construction au moyen d'unités physiques de longueur ; voir section 3.4. Un triangle rectangle dont les côtés mesurent 3 000 millimètres (mm), 3 000 mm et 4 242 mm (voir figure 18b) n'est pas un triangle rectangle, mathématiquement parlant. Mais dans la pratique, est-ce bien un triangle non rectangle ? Dans le meilleur des cas, les mesures faites dans le cadre de la topographie de construction sont précises à 1 ou 2 centimètres près. Pour cette raison, un triangle dont les côtés mesurent 3 m, 3 m et 4,24 m est quasiment un triangle rectangle, et un triangle dont les côtés mesurent 3 m, 4 m et 5 m ne sera, dans la pratique, un triangle rectangle que s'il a été mesuré avec une précision au centimètre. De plus, des côtés de 3,000 m, 3,000 m et 4,244 m laissent penser qu'ils ont été mesurés avec une précision au millimètre, ce qui est tout à fait irréaliste.

3.2 Matérialisation d'éléments géométriques

Utilisation de marqueurs de points

Certains points topographiques doivent servir de référence. Un point de référence horizontal est appelé point d'orientation ou d'appui. Le point utilisé pour la référence verticale est un point de référence ou de repère, ou une borne repère.

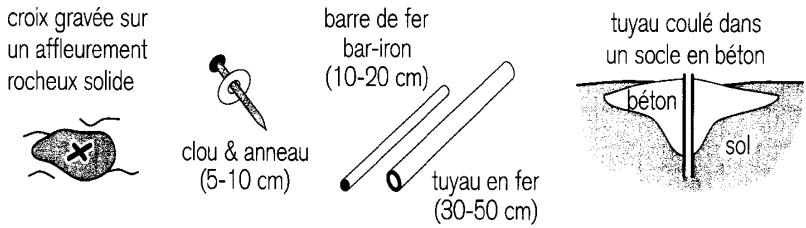
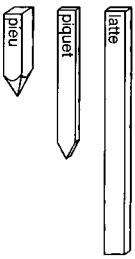


Figure 19 : Les marqueurs de points permanents doivent être résistants.

Certains points sont utilisés pour ces deux types de référence. Il est important de pouvoir facilement identifier les points de référence et pour cette raison, ils doivent être indiqués clairement, précisément et de manière permanente à l'aide d'un monument.

Il existe de nombreuses manières de créer un monument durable, stable et accessible. Une manière très simple consiste à graver une croix sur un affleurement rocheux solide. Si vous ne disposez pas d'un affleurement rocheux, vous pouvez dresser un monument en utilisant divers matériaux résistants, voir figure 19 : un clou suffisamment long dans un revêtement routier, une barre de métal dans un rocher érodé, un tuyau en métal dans un sol suffisamment ferme ou un tuyau coulé dans un socle en béton dans le cas d'un sol meuble.

Le début ou la fin des lignes topographique peut être marqué temporairement à l'aide d'une latte, d'un piquet, d'un pieu (Figure 20), un piquet de chaînage (Figure 21) ou un jalon (Figure 22).



Objectif : marquer un emplacement ou une hauteur.

Matériel : latte en bois ; longueur 20 à 50 cm ; coupe transversale 2x3 à 5x5 cm; en pointe ou non selon le but recherché et les caractéristiques du sol.

Utilisation : Doivent être munis de l'identification du point. A mettre en place à l'aide d'un marteau en bois. Les maintenir à la verticale !!

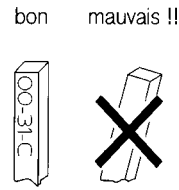
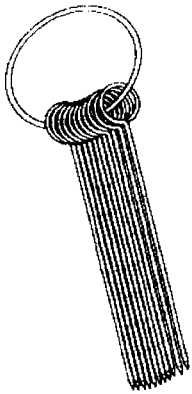


Figure 20 : Marqueurs de point en bois



Objectif : indiquer les points que l'on a reportés ou que l'on utilise lors des mesures effectuées à l'aide d'une chaîne ou d'un mètre ruban.

Matériel : fil de fer galvanisé de 5-6 mm ; environ 30 cm de long ; l'une des extrémités est repliée en forme d'anneau (peint en jaune ou en rouge), l'autre est en pointe.

Utilisation : en combinaison avec un mètre ruban de 10-50 mètres; voir la section 3.3.

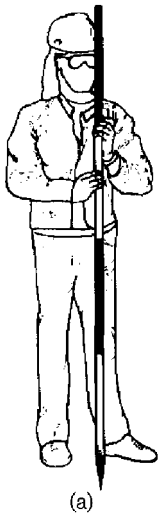
Dix piquets jaunes et un rouge sont maintenus par un anneau que l'on peut ouvrir. Les 11 piquets s'étendent sur 10 fois la longueur d'une chaîne, voir les explications de la section 3.3.

Figure 21 : Piquets de chaînage maintenus ensemble par un anneau

Utilisation de jalons et de nivelettes pour les lignes de visée

Si les jalons sont positionnés verticalement, comme il convient (Figure 22), ils permettent l'alignement de points sur un plan horizontal. Pour une ligne qui ne mesure que quelques dizaines de mètres, il suffit d'utiliser un jalon au début et un autre à la fin. En ajoutant et en alignant des jalons supplémentaires, il est possible de prolonger une ligne courte ou d'établir des points intermédiaires, voir figure 23.

Lors du tracé d'une ligne topographique sur un terrain accidenté, la présence d'une élévation ou d'une dépression peut entraîner un manque de visibilité de certains points de la ligne à partir de chaque extrémité. Dans ces deux cas, il est possible d'aligner les points intermédiaires par une procédure itérative illustrée à la figure 24.



Objectif : marquer des points le long d'une ligne topographique ou indiquer une ligne de visée vers un point topographique.

Matériel : généralement du bois avec une pointe acérée en fer ; longueur 1,5 à 2,5 mètres ; rond et de 3 à 4 cm de diamètre ; peint en rouge et blanc sur des sections de 25 cm pour améliorer la visibilité. On peut également utiliser du bambou, mais pour un travail précis, le jalon doit être bien droit.

Utilisation : le placer en appuyant fermement le jalon dans le sol (s'il est meuble) ou en se servant d'un trépied de soutien que l'on aura fabriqué soi-même (avec trois bâtons en bois et une corde). Pour obtenir un positionnement précis (des points ou des lignes), il faut placer le jalon verticalement au moyen d'un fil à plomb ou d'un niveau circulaire à bulle.

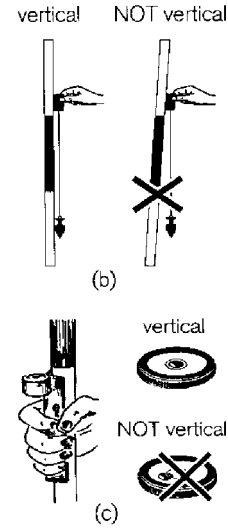


Figure 22 : Positioner une perche de coin verticalement (a) à l'aide d'un fil à plomb (b) ou d'un niveau (c).

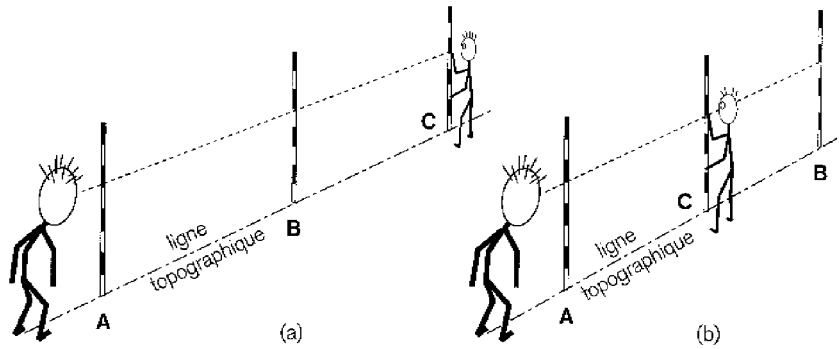
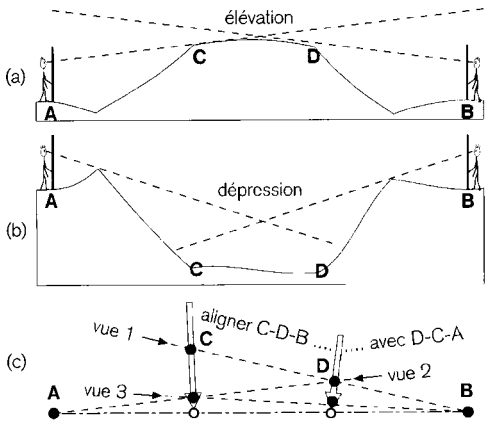


Figure 23 : Aligner des points horizontalement : (a) dans le prolongement ; (b) avec un point intermédiaire.



Étape 1: sélectionner deux points (C et D)à partir desquels les jalons de A et de B sont tous deux visibles ; placer des jalons en C et D en alignement approximatif avec A-B.

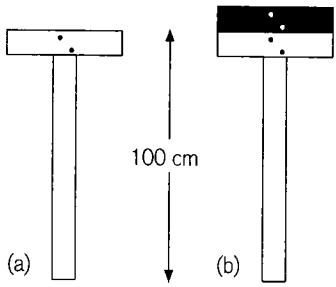
Étape 2: regarder de C à B ; aligner D comme le montre la figure 23b (vue 1).

Étape 3: regarder de D à A ; aligner de même C (vue 2).

Étape 4 : répéter à nouveau le cycle de deux alignements (vues 3 & 4). Continuer jusqu'à ce que C-D-B soit aligné avec D-C-A.

Figure 24 : La ligne de visée ne peut pas être entièrement observée (a) à travers une élévation (b) au-delà d'une dépression. Points intermédiaires déterminés (c) par l'intermédiaire d'une procédure itérative (vue de dessus).

Pour aligner des points le long d'une ligne verticale, il est nécessaire d'utiliser nivelettes, voir figure 25 et figure 26.

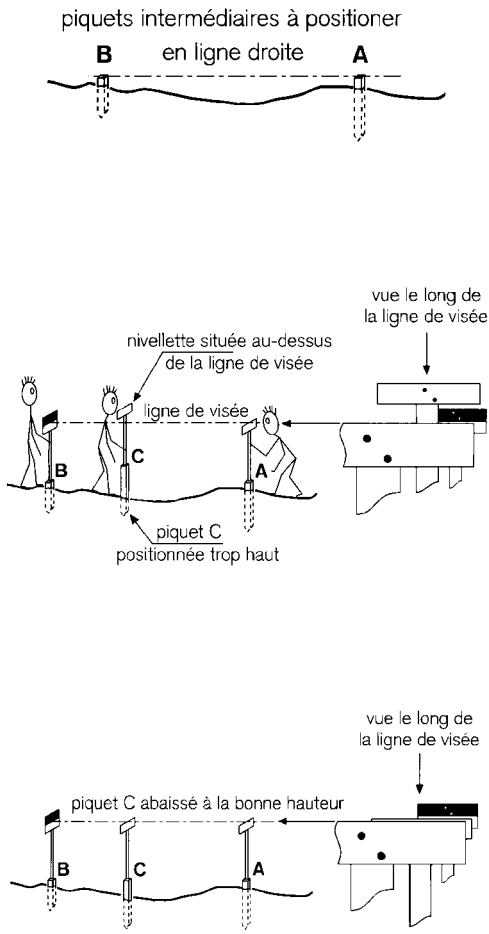


Objectif : aligner les têtes d'une série de piquets plantés verticalement le long d'une ligne horizontale ou en pente.

Matériel: des planches en bois peintes en blanc. La dernière nivelette doit être munie d'une planche transversale deux fois plus large dont une moitié est peinte en noir et l'autre en blanc.

Utilisation : tenues à la main (verticalement)

Figure 25 : Règles à niveler : (a) de départ ou intermédiaires ; (b) finales.



Étape 1: Placer les piquets aux deux extrémités d'une ligne en veillant à ce que leurs têtes soient à la hauteur requise. Placer des piquets intermédiaires dans l'alignement (Figure 23b) en les espaçant correctement (Section 3.4 ; figure 33).

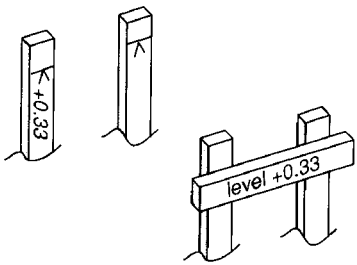
Étape 2: Mettre en place les nivelettes initiales et finales (maintenues par une personne à chaque extrémité). Positionner la nivelette intermédiaire sur l'un des piquets supplémentaires (troisième personne). La personne qui tient la règle initiale fait partir sa ligne de visée juste au-dessus de sa barre transversale et la fait atterrir sur la ligne séparant le noir du blanc, sur la nivelette finale. On donne des instructions à la personne tenant la règle C pour qu'elle l'enfonce plus profondément dans le sol.

Étape 3: Répéter les étapes 2 & 3 jusqu'à ce que la hauteur de la nivelette intermédiaire en C soit dans l'alignement de la ligne de visée.

Figure 26 : Alignement d'un piquet intermédiaire à la verticale grâce aux nivelettes.

Utilisation de planches de repère pour tracer des lignes de construction

La procédure utilisée pour marquer un tracé donné sur le sol d'un site de construction est traitée dans la section 2.4. Avant de procéder au piquetage, il faut éliminer la couche supérieure de sol meuble jusqu'à ce qu'on atteigne une couche assez solide pour supporter la construction sans trop s'affaisser. La position des coins d'un tracé est marquée sur le sol mis à nu et aplani pour la construction, puis marquée par des piquets, voir figure 9.



Enfoncer fermement dans le sol deux gros piquets d'une longueur suffisante aux endroits qui conviennent.

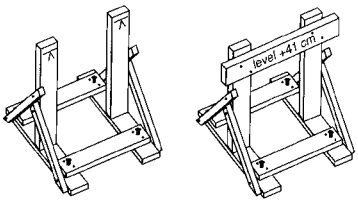
Clouer la barre transversale horizontale à ces piquets au niveau requis, c'est-à-dire à 0,33 m au-dessus de la hauteur du point de repère, voir les explications de la figure 30.

Figure 27 : Construction d'une planche de repère simple (pour sol meuble uniquement)

Il convient de marquer correctement les fondations d'une construction à la fois sur un plan horizontal et vertical. C'est pourquoi les lignes de construction doivent être tracées et alignées à la fois horizontalement et verticalement. Les planches de repère (Figure 27 & figure 28) servent à créer des lignes de construction situées à la position verticale requise au-dessus des piquets qui, eux, marquent un tracé (horizontal), voir figure 29. La manière d'utiliser des planches de repère dans la construction de fondations en briques est illustrée dans la figure 30.

Les planches de repère peuvent être réalisées avec les matériaux dont on dispose. Le niveau auquel les barres doivent être positionnées est

déterminé par rapport à la hauteur du point de repère le plus proche, en appliquant une technique de nivellement. Ces techniques sont expliquées dans la section 3.6 et dans le chapitre 4.

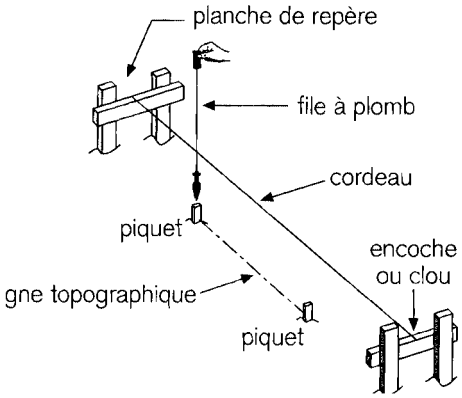


Monter deux planches courtes verticalement sur deux planches horizontales qui soutiennent et relient les deux premières au moyen de planches transversales.

Il faut fixer solidement la planche de repère au sol afin qu'elle reste bien en place.

On l'utilise de la même façon qu'une planche de repère simple.

Figure 28 : Construction d'une planche de repère réutilisable (pour un sol ferme ou rocheux)



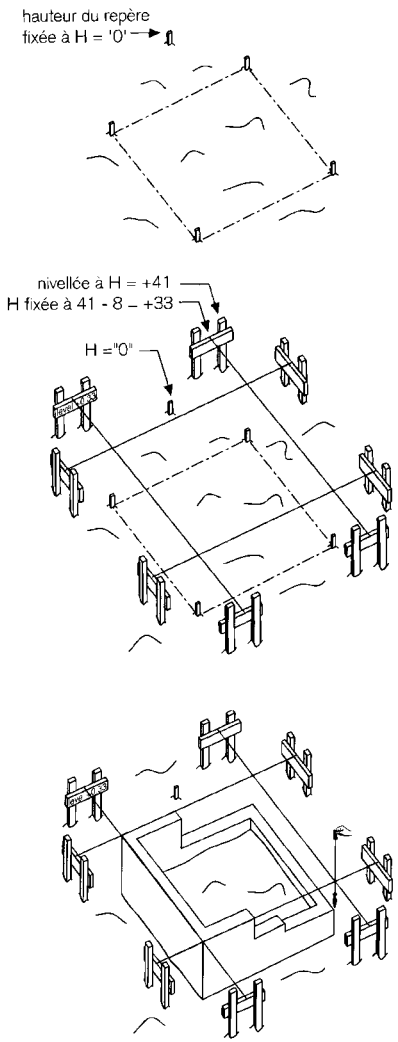
Le cordeau doit être positionné perpendiculairement au-dessus d'une ligne d'arpentage marquée auparavant par deux piquets.

On installe deux planches de repère. Deux personnes maintiennent une corde tendue au-dessus des deux lignes transversales.

Une troisième personne vérifie à l'aide d'un fil à plomb si la ligne s'étend bien perpendiculairement aux piquets.

On tend bien la corde avant de la fixer à la bonne position sur la barre transversale au moyen d'un clou ou dans une encoche.

Figure 29 : Mise en place d'une corde sur deux planches de repère pour le marquage d'une ligne de construction



Étape 1 : hauteur de référence

Placer un piquet en veillant à ce que sa tête soit à la hauteur prévue. Celle-ci servira de repère pour installer les barres transversales des planches de repère au niveau défini dans le plan comme celui des fondations.

Étape 2: lignes de construction

Installer huit planches de repère, puis fixer quatre cordeaux à la perpendiculaire des piquets.

Pour que les quatre cordeaux soient bien dans le même plan horizontal, il faut que les quatre barres horizontales soient placées exactement au même niveau.Dans l'exemple, les barres transversales doivent être fixées à 33 cm au-dessus du niveau de la tête du piquet de référence.

Utiliser un instrument de nivellement pour établir, pour chaque planche de repère la hauteur de la tête d'un de ses piquets par rapport à la hauteur de référence, voir le Chapitre 4. La différence de hauteur doit être supérieure aux 33 cm requis (41 cm par exemple).

Puis utiliser une règle de menuisier pour définir la hauteur correcte du piquet de la planche de repère, à 41 - 33 cm = 8 cm en dessous de la hauteur de la tête.

Étape 3 : briquetage

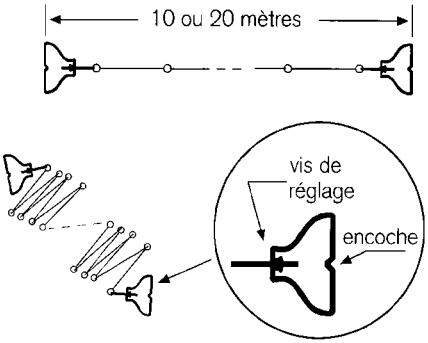
Construire les fondations en briques jusqu'au niveau des cordeaux. Vérifiez régulièrement la position des cordeaux dans les angles.

Figure 30 : Utilisation de planches de repère et de cordeaux pour poser et monter des fondations de briques.

3.3 Mesure d'une longueur sur une ligne: "chaînage"

Outils de mesure de longueur

Le terme " chaînage " utilisé en topographie fait référence à la mesure de longueurs à l'aide d'une chaîne ou d'un mètre ruban. Une véritable chaîne (Figure 31) est robuste mais peu pratique à utiliser en raison de son poids, et de plus, elle ne porte aucune marque des décimètres et des centimètres.



Objectif : vu l'absence de graduation précise, permet essentiellement de mesurer des longueurs entières (ou leurs multiples).

Matériel : des maillons en fil d'acier trempé; environ 25 cm chacun ; longueur totale 10 ou 20 m; une poignée réglable en laiton à chaque extrémité pour étalonner la longueur.

Utilisation : avec les piquets d'arpentage qui indiquent les points initiaux et finaux, dans le cas où la chaîne mesure plusieurs longueurs entières.

Figure 31 : Chaîne d'arpentage, résistante mais lourde et non munie de graduations

L'outil le plus pratique et le plus sûr est un mètre à ruban d'acier enroulé sur une bobine, voir figure 32. Les longueurs peuvent également être mesurées avec un instrument de topographie optique. Cette technique, inhérente à l'utilisation d'un instrument de nivellement, sera présentée dans le chapitre suivant.

Ne pas utiliser de mètre à ruban en tissu ou en plastique. Ils sont unique-ment destinés à l'utilisation à l'intérieur, sont peu solides et se déformeraient sous l'effet de la chaleur.

Utilisation d'un ruban d'acier

Généralement, les mètres à ruban d'acier comportent des graduations en centimètres. Les graduations en millimètres n'ont aucune utilité pour un travail de topographie normal. La graduation peut commencer à des endroits inattendus du ruban, voir figure 32c.

Il arrive que le point de départ (0) de la graduation se trouve à une position inattendue. Il est préférable qu'il soit à l'extrémité du ruban. Ne pas utiliser de ruban dont le zéro est situé dans l'oeillet, voir le commentaire de la figure 32c.

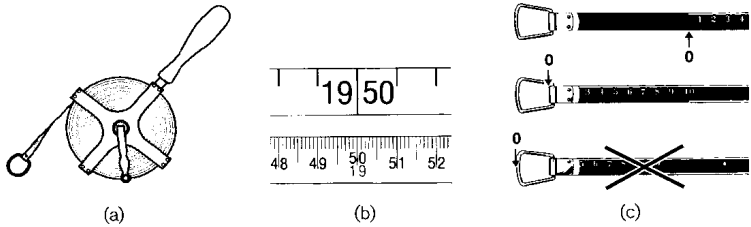


Figure 32 : (a) Les rubans en acier mesurent généralement 30 m de long. (b) Les graduations et les inscriptions peuvent varier. (c) La graduation peut commencer à des endroits inattendus ! Où se trouve le zéro ?

Le chaînage nécessite la collaboration et la communication de deux personnes. Le géomètre " arrière " maintient le début ou " zéro " et le géomètre " avant " lit et note les mesures, voir figure 33.

Bonne pratique du chaînage

- Conserver un alignement correct, à la fois horizontalement et verticalement (bonne tension) car la distance la plus courte entre deux points est la ligne droite.

- Mesurer horizontalement, parce que les longueurs sur une carte ou sur un plan indiquent toujours des mesures horizontales. Si ces dernières ne sont pas réalisables, la mesure d'une longueur le long d'une pente de plus de quelques degrés doit être corrigée

(“ réduite ”) pour obtenir son équivalent horizontal (paragraphe suivant).

- Mesurer toutes les longueurs deux fois (aller et retour) afin de détecter d’éventuelles erreurs ; voir Sec. 2.5.

- Communiquer à voix haute ; voir la procédure étape par étape ci-dessous.

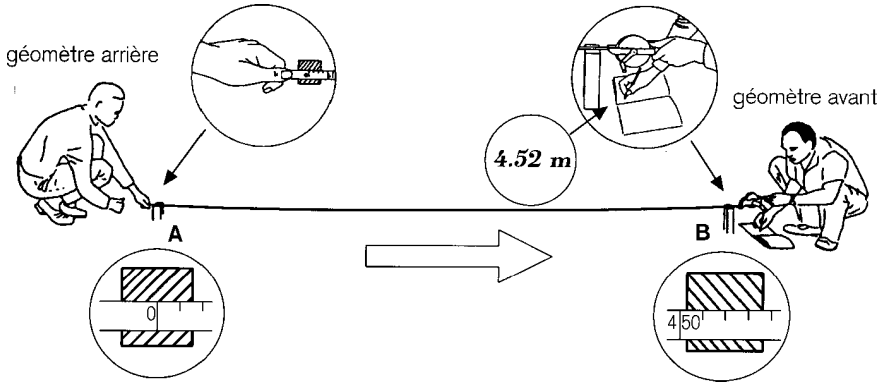


Figure 33 : Mesures de chaînage “ du ” piquet A “ au “ piquet B. Le géomètre arrière maintient le “ zéro au piquet ”, alors que le géomètre avant note la distance lue au piquet. (4,52 m).

Mesure d’une longueur supérieure à la longueur d’un ruban (en 5 étapes)

Étape 1. Le géomètre arrière (GR) maintient la fin de la chaîne au point de départ marqué par un jalon. Il indique la direction au géomètre avant (GV) qui se rend du point de départ au point d’arrivée et dégage le sentier de chaînage. Le ruban se débobine au fur et à mesure de son avancée. Arrivé au bout du ruban, le GV se retourne en direction du GA pour s’aligner. À ce moment, la première longueur de ruban totale peut être marquée sur le sol (par exemple 30 m).

Étape 2. Le GR maintient le zéro du ruban sur la marque au sol, tout en résistant à la tension exercée par le GV. Il crie “ marque ” lorsque

le zéro se trouve sur la marque. Le GV enfonce alors un piquet de chaînage dans le sol à l'emplacement de la marque indiquant la fin du ruban. Il relâche la tension et crie " suivant ". Le GV se déplace à nouveau en tirant le ruban derrière lui. Le GR suit le bout de la chaîne et crie "chaîne" lorsqu'il est proche du piquet qui vient d'être enfoncé.

Étape 3. Le cycle des étapes 1 et 2 se répète jusqu'à ce que le GV atteigne la marque de fin de la ligne et rembobine le ruban. Dès que le GR crie " chaîne ", le GV arrête de rembobiner. Le GR maintient la marque du zéro du ruban sur le dernier piquet. Le GV tend le ruban et lorsque le GR crie " marque ", il lit la mesure indiquée par le ruban à la hauteur de la marque sur le sol, voir figure 33. Il crie ensuite " C'est bon " au GR, relâche la tension et note la mesure lue, par exemple, 4,52 m.

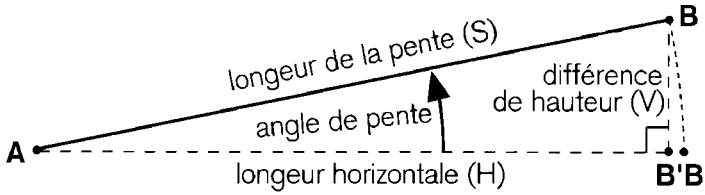
Étape 4. Le GR crie le nombre de piquets qu'il a collecté, y compris le dernier, par exemple " trois ". Le GV vérifie le nombre de piquets qu'il a encore en sa possession (qui doivent être au nombre de onze moins trois) puis crie : " c'est bon ". La longueur totale mesurée le long de la ligne est de : 3 x 30,00 m + 4,52 m, ce qui équivaut à 94,52 m.

Étape 5. Les étapes 1 à 4 doivent être répétées en sens inverse. Le résultat du deuxième chaînage ne sera pas exactement de 94,52 mais, par exemple, de 94,55 ; donc 94,54 en moyenne. La différence ne doit pas dépasser 1-2 cm par longueur de ruban. Dans l'exemple, la différence doit être au maximum de 5, ce qui est effectivement le cas (3 cm).

Réduction d'une longueur sur pente à une longueur horizontale

Une longueur horizontale et une longueur verticale (différence de hauteur) forment les côtés à angle droit d'un triangle rectangle. La longueur du côté horizontal est toujours plus courte que celle du côté en pente ; voir Sec. 3.1 (Théorème de Pythagore). C'est pourquoi, lorsqu'on mesure des longueurs horizontales, il faut maintenir le mètre à ruban bien horizontal, ce qui n'est possible que pour des distances de 10 mètres au maximum. Une distance mesurée sur une surface en

pente doit être réduite à son équivalent horizontal, voir figure 34. Cependant, le tableau 3.1 indique que pour une pente de 2° au maximum, la réduction requise n'excède pas 2 cm par longueur de ruban (3 000 cm). Même pour une pente d'une inclinaison de 10 % (angle de pente de 5,7°) la réduction ne dépasse pas 15 cm sur une longueur de ruban de 30 m, ce qui implique une différence relative de 0,5 %.



La différence B'-B entre une longueur sur pente A-B et la longueur horizontale équivalente A-B' dépend du degré de l'angle de pente ou du gradient. Pour la topographie de construction, la longueur B'-B est négligeable pour des pentes inférieures à 1:30 ou pour des angles inférieurs à 2°, voir la figure 35.

Figure 34 : Une longueur sur pente (S) doit être réduite à une longueur horizontale (H) en prenant en compte l'inclinaison ou l'angle de la pente.

grad.	V (cm)	H (cm)	S (cm)	angle
1:100	30	2999.9	3000	0.6°
1:50	60	2999.4	3000	1.1°
1:30	**100**	**2998.3**	**3000**	**1.9°**
1:20	150	2996	3000	2.9°
1:15	200	2993	3000	3.8°
1:10	298	2985	3000	5.7°

La longueur de pente (S) est fixée à la longueur du mètre ruban (30 m ou 3000 cm). Les valeurs de H expriment les différences de hauteur équivalentes en cm pour les pentes et les degrés donnés. La différence H moins S correspond à la réduction à effectuer d'une longueur de pente pour obtenir la longueur horizontale équivalente.

Figure 35 : Inclinaisons (exprimées en rapports V/H) et angles de pente équivalents.

3.4 Application d'angles droits (90°) horizontaux

Les angles droits horizontaux sont souvent utilisés dans la topographie de construction car ils peuvent être tracés avec des outils relativement simples tels que :

- Un mètre à ruban, qui constitue l'outil le plus simple garantissant une construction précise ou permettant de vérifier les angles droits, voir figure 36 & figure 37.

- Une équerre d'arpenteur (à fabriquer soi-même) est un outil simple à utiliser mais nécessitant des jalons pour faciliter le travail de visée. De plus, les résultats sont moins précis.

- Une équerre optique, plus petit et plus léger, il est donc plus facile à utiliser. Doit faire partie de votre panoplie.

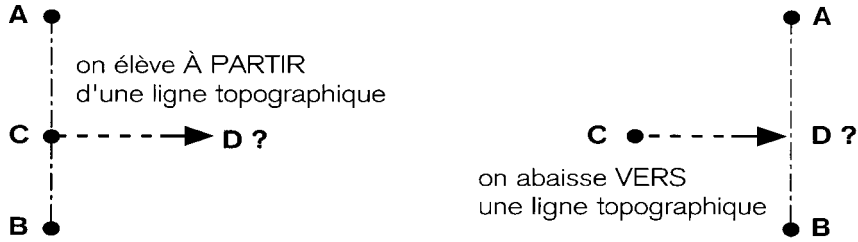


Figure 36 : Deux manières de tracer une ligne perpendiculaire à une ligne d'arpentage

Deux méthodes sont possibles pour tracer une ligne perpendiculaire à une ligne d'arpentage, voir figure 36 :

- En élevant la perpendiculaire à partir de la ligne vers un point X.
- En abaissant la perpendiculaire vers la ligne à partir d'un point d'arpentage en dehors de la ligne.

Utilisation d'un mètre à ruban

Selon le théorème de Pythagore (Sec.3.1), un triangle présentant un rapport de 3:4:5 entre ses côtés comporte un angle droit à la jonction

des côtés ayant le rapport 3:4. Cette loi géométrique peut être appliquée au tracé d'une perpendiculaire à partir d'une ligne d'arpentage à l'aide d'un mètre à ruban. On utilise quatre marques de longueur pour indiquer trois parties successives devant avoir un rapport de longueur de 3:5:4 exactement. Il peut s'agir, par exemple, de marques à 0, 3, 8 et 12 mètres, ou bien à 0, 6, 16 et 24 mètres. Il est possible d'appliquer cette méthode 3-4-5 avec deux personnes, comme indiqué en figure 37, mais il est plus pratique de l'appliquer avec trois personnes, une à chaque coin.

Placer le piquet P1 sur la ligne AB en C, où il faut élever une perpendiculaire. Placer le piquet P2 sur la ligne AB, à 3 mètres de C.
Un des géomètres tient le mètre à ruban en en maintenant le point de départ (0.00) et la marque des 12 mètres au niveau du piquet P1.
L'autre géomètre fait passer le ruban autour du piquet P2, puis le tend à l'aide du piquet P3. Il place le piquet P3 à la marque des 8 mètres.
La ligne passant par P1 et P3 indique la direction perpendiculaire vers D. Prolonger la perpendiculaire au-delà de P3 et placer le point D à la longueur voulue de C.

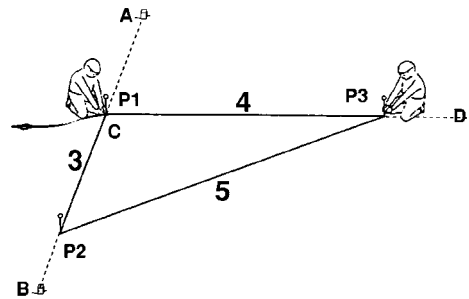
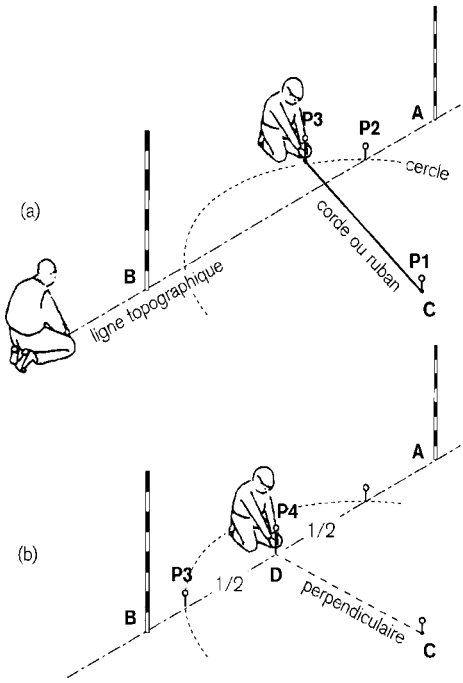


Figure 37 : Élévation d'une perpendiculaire à partir du point C situé sur la ligne d'arpentage AB en établissant un triangle rectangle répondant à la règle des 3:4:5.

La méthode de 3-4-5 n'est pas très adaptée au tracé d'une perpendiculaire en direction d'une ligne d'arpentage à partir d'un point situé en dehors de cette ligne. La méthode à utiliser dans ce cas est basée sur le tracé d'un triangle isocèle dont la base est divisée en parties égales, voir figure 38. La ligne partant du sommet vers le milieu de la base constitue la perpendiculaire requise. Pour appliquer cette méthode, il faut être deux.



Fixer le mètre ruban au point C à l'aide du piquet P1.
Placer un second piquet P2 sur la ligne d'arpentage AB. L'aide d'un assistant est nécessaire pour mettre P2 dans l'alignement de AB.
Tendre le ruban entre C et P2. Prendre un troisième piquet et le tenir en même temps que le ruban entre le pouce et l'index au point P2.
Maintenir la corde bien tendue et décrire un cercle de P1 au point d'intersection entre le cercle et la ligne topographique (s'aider d'un assistant pour repérer ce point). Placer un troisième piquet P3 à ce point sur la ligne AB.
Mesurer la longueur comprise entre P2 et P3, puis placer P4 au point D situé exactement à mi-chemin entre P2 et P3. C'est le pied de la perpendiculaire de C sur AB.

Figure 38 : Abaissement d'une perpendiculaire à partir du point C vers la ligne d'arpentage AB en traçant un (a) triangle isocèle au sommet C et (b) en divisant sa base en deux parties égales.

Utilisation d'une équerre d'arpenteur à réaliser soi-même

En fait, une équerre d'arpenteur matérialise deux lignes de visée perpendiculaires l'une à l'autre, voir figure 39a. Viser à travers une équerre d'arpenteur équivaut à utiliser le viseur d'une arme à feu. Les viseurs d'une équerre d'arpenteur peuvent simplement être matérialisés par deux clous ordinaires. On plante un clou de 3 mm dans une planche en bois à l'extrémité d'une ligne de visée ; deux autres clous sont plantés à l'autre extrémité, légèrement éloignés l'un de l'autre.

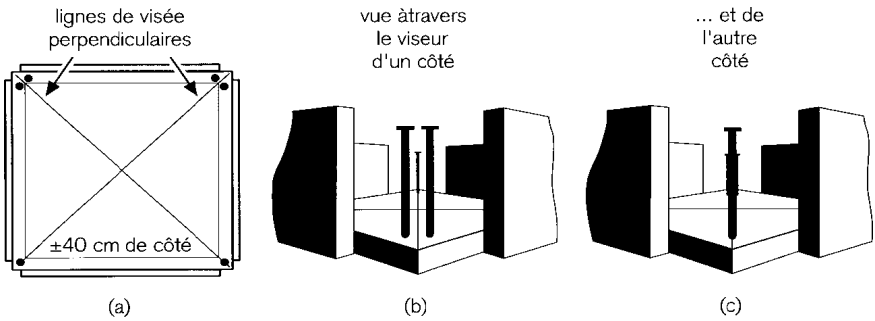


Figure 39 : Équerre d'arpenteur à réaliser soi-même (a) et vue à travers les viseurs de chaque côté (b) et (c).

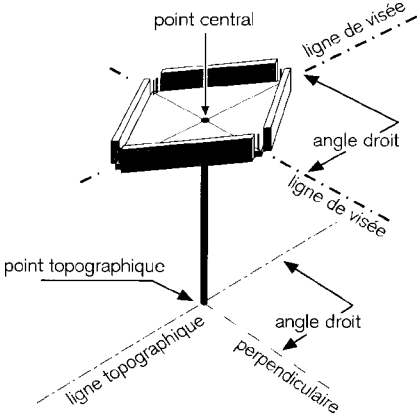
Remarquez que le viseur doit permettre de viser de chaque côté, voir figure 39b & c. Pour empêcher les clous utilisés comme viseur de se déformer, il faut placer des bords surélevés sur les côtés de la plaque, en utilisant par exemple des lattes.

Le point le plus important dans la construction d'une équerre d'arpenteur est de placer les deux viseurs précisément en angle droit. La meilleure méthode pour y arriver est de tracer des diagonales dans un carré très précis tracé sur une planche carré d'environ 40 centimètres de côté, voir figure 39a.

La procédure pour élever une perpendiculaire à partir d'une ligne d'arpentage à l'aide d'une équerre d'arpenteur est illustrée et expliquée à la figure 41. Cette procédure nécessite deux personnes. Une personne manipule l'équerre et indique à l'autre où marquer la fin de la perpendiculaire.

L'abaissement d'une perpendiculaire sur une ligne d'arpentage est une procédure comparable à celle utilisée pour élever une perpendiculaire. Dans ce cas, toutefois, on place un jalon à la position D à partir de laquelle la perpendiculaire doit être abaissée. Ensuite, l'équerre doit être mise dans la bonne position C sur la ligne A-B. Dans cette situation, l'équerre peut également être manipulée par une seule personne,

comme illustré dans la figure 41, mais il est beaucoup plus facile de disposer d'un assistant derrière le jalon A (ou B) qui aide le géomètre à maintenir le support de l'équerre dans l'alignement de A-B.

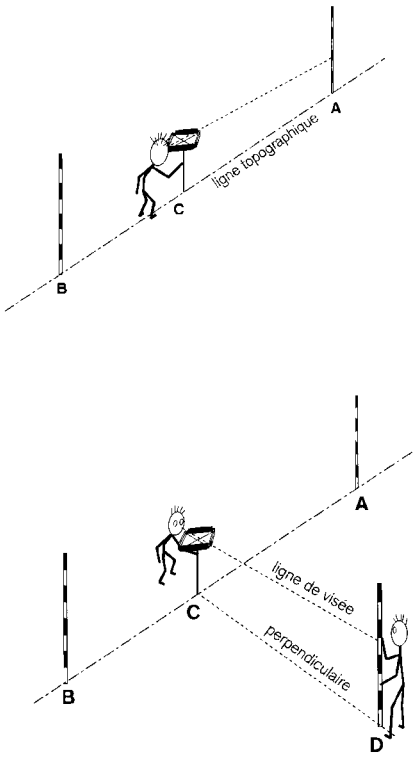


Afin de permettre de viser d'une manière stable, il faut que l'équerre d'arpenteur soit centrée et fixée au moyen d'un clou solide ou d'une vis, perpendiculairement à un piquet en bois bien droit. La longueur de celui-ci doit être déterminée de façon à ce que la ligne de visée soit à la bonne hauteur. Il faut maintenir le piquet à la verticale , comme un jalon (voir Sec. 3.1), au-dessus du point où l'on doit construire l'angle droit ; voir la figure 22.

Figure 40 : Équerre d'arpenteur positionnée perpendiculairement sur un piquet au-dessus d'un point d'arpentage.

Deux précautions à prendre en utilisant une équerre d'arpenteur :
(1) Bien maintenir le piquet de support à la verticale. Utiliser un niveau circulaire à bulle (figure 22).
(2) Veiller à ce que l'équerre ne pivote pas lors du changement de ligne de visée.

Lorsque l'équerre est positionnée sur la ligne A-B, le géomètre vise un point déterminé sur le jalon A (ou B), puis il regarde à travers l'autre viseur en direction du jalon D. Selon son observation, il déplace l'équerre sur la droite ou sur la gauche (sans la faire pivoter) le long de la ligne A-B, jusqu'à ce que son viseur pointe exactement en direction du jalon D. (L'assistant l'aide à conserver le support dans l'alignement de AB). Il d'une grande importance que le géomètre vérifie en permanence si le premier viseur est toujours en direction du jalon A (ou B).



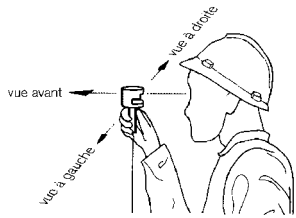
1. Placer l'équerre sur la ligne topographique A-B à la position C, là où la perpendiculaire doit être élevée.
2. Viser d'un côté de l'équerre dans la direction du jalon A. Regarder de l'autre côté, à travers cette même ligne de visée, en direction du jalon B, pour vérifier si C est bien sur la ligne A-B. Si ce n'est pas le cas, vérifier à nouveau l'alignement A-C-B.
3. Un assistant place un troisième jalon à la longueur voulue du point C. Utiliser un mètre à ruban pour déterminer cette longueur (Sec. 3.2)
4. Passer à la seconde ligne de visée tout en maintenant l'équerre dans la même position. Ne pas la faire pivoter.
5. Regarder à travers la seconde ligne de visée et donner des instructions à l'assistant pour qu'il déplace le jalon sur la droite ou sur la gauche, jusqu'à qu'il se trouve exactement dans la ligne de visée.
6. Revenir à l'autre ligne de visée pour vérifier si l'équerre est bien toujours dans la direction du point A ou B. Si ce n'est pas le cas, recommencer les étapes 2-6.
7. Placer le jalon et vérifier la longueur de C à D. Marquer le point D à l'aide d'un piquet.

Figure 41 : Élever une perpendiculaire à partir d'une ligne d'arpentage A-B au moyen d'une équerre d'arpenteur.

Utilisation d'une équerre optique à la place d'une équerre d'arpenteur

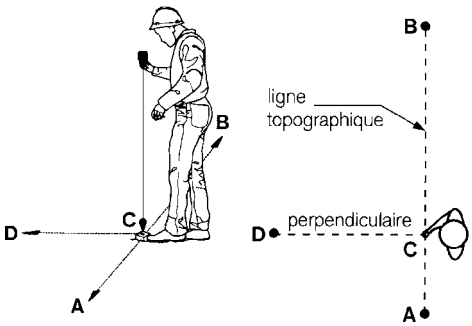
Il est plus facile d'élever ou d'abaisser une perpendiculaire à l'aide d'une équerre optique. La procédure est la même qu'avec une équerre d'arpenteur, mais l'équerre optique ne nécessite pas de piquet de support car elle est plus petite et plus légère. Pour pouvoir utiliser une équerre optique de manière rapide et précise, il faut avoir reçu une formation.

À la base, une équerre optique se compose de deux petits prismes, ce qui permet de voir au-delà d'un angle de 90°, un prisme étant dirigé vers la droite et l'autre vers la gauche. C'est pourquoi elle permet au géomètre de regarder le long de deux lignes perpendiculaires en un seul coup d'œil, voir figure 42. On utilise un fil à plomb pour positionner l'équerre optique perpendiculairement au-dessus d'une ligne ou d'un point, voir figure 43.



Une équerre optique permet de voir deux visées alignées (angle de 180°) d'un seul coup d'oeil : l'une vers la gauche et l'autre vers la droite. Il offre simultanément une troisième visée perpendiculaire (90°) aux visées alignées de gauche et de droite.

Figure 42 : Vue à travers une équerre optique. Le géomètre peut regarder simultanément dans trois directions horizontales.



Commencer par déplacer l'équerre optique en avant et en arrière, jusqu'à ce que les visées vers les jalons gauche et droit soient alignées (Fig. 44 b). C'est l'indication que le fil à plomb (C) est dans l'alignement de A-B. Lorsqu'on élève une perpendiculaire, on déplace le jalon avant sur la gauche et sur la droite jusqu'à ce qu'on le voie dans l'alignement des visées gauche et droite (figure 44c).

Figure 43 : La position horizontale de l'équerre optique au-dessus de la surface est indiquée au moyen d'un fil à plomb.

L'abaissement d'une perpendiculaire sur une ligne d'arpentage peut être réalisé par une seule personne. Par contre, l'élévation d'une perpendiculaire requiert toujours l'aide d'un assistant. Dans ce cas de figure, le géomètre maintient le fil à plomb de l'équerre optique au-dessus du point situé sur la ligne d'arpentage, à partir duquel la perpendiculaire doit être élevée. Il demande ensuite à son assistant de déplacer le jalon avant sur la droite ou sur la gauche.

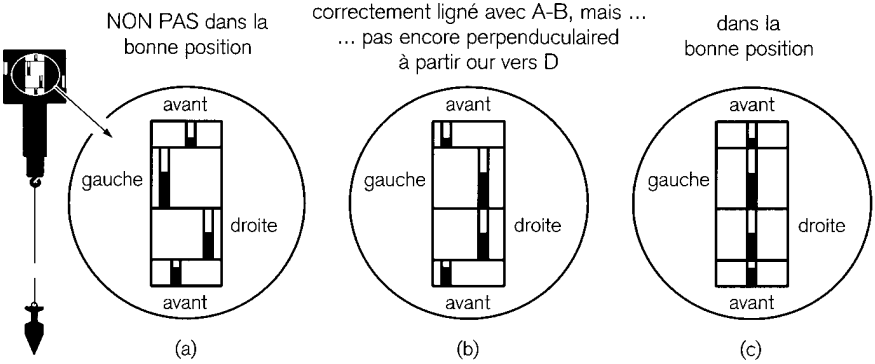


Figure 44 : Vue à travers une équerre optique. (a) Le fil à plomb n'est pas dans l'alignement des jalons qui marquent la ligne d'arpentage. (b) Le fil à plomb est dans l'alignement de la ligne d'arpentage, mais soit le jalon de devant n'est pas encore à la perpendiculaire (élévation), soit le fil à plomb n'est pas encore au-dessus du pied de la perpendiculaire (abaissement). (c) Le fil à plomb et le jalon sont tous deux correctement positionnés (alignés et perpendiculaires).

Précision des angles droits

Dans tous les cas, on trace les angles droits par rapport à une ligne topographique existante. En l'absence d'instrument, on peut aligner les jalons sur une distance maximale de 100 m avec une précision d'environ 2 cm par 30 m, perpendiculairement à la ligne de visée. On peut tracer des angles droits à l'aide d'un mètre à ruban (méthode 3-4-5), avec une précision comparable à celle du chaînage (1-2 cm par 30 m). Avec une équerre optique, les jalons utilisés pour la visée doi-

vent rester dans un périmètre de 30 m. En comparaison avec la méthode 3-4-5, la précision est légèrement inférieure (2-3 cm par 30 m), mais l'équerre optique est d'une utilisation plus flexible. La précision offerte par une équerre d'arpenteur réalisée soi-même dépend, dans une large mesure, de sa construction. Si elle a été construite minutieusement et rigoureusement, les résultats obtenus ont une précision comparable à celle d'une équerre optique.

3.5 Traitement des angles non-droits sur un plan horizontal

L'utilisation d'un outil simple pose des problèmes de précision

Un aspect important des mesures d'angles est la précision relative. Une erreur d'angle implique un déplacement latéral par rapport à la direction mesurée et il augmentera proportionnellement à la distance.

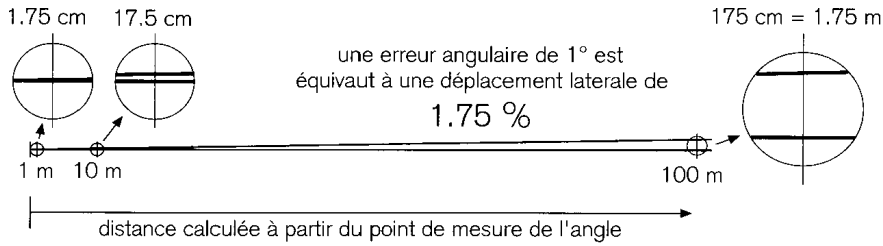


Figure 45 : Une erreur d'angle de seulement 1° provoque un déplacement latéral égal à 1,75% de la distance calculée à partir du point de mesure de l'angle.

Par exemple, une erreur d'un degré entraîne un déplacement latéral de 1,75 pour cent, soit 1,75 cm par mètre. Sur une distance de 100 mètres l'erreur sera de 1,75 mètres. Même sur une distance de 10 m seulement, l'erreur est de 17,5 cm, ce qui reste inacceptable si l'on compare avec les exigences de 1 à 2 cm par 30 m établies pour le chaînage à la fin de la Section 3.3.

Utilisation d'une boussole
Lors de l'utilisation d'une boussole, le pôle nord magnétique sert en permanence de direction de référence " intégrée ". L'angle horizontal dans le sens des aiguilles d'une montre situé entre le nord (azimut) et la direction visée se lit au moyen d'un cadran de 360°, voir Sec. 3.1, figure 16. Malheureusement, des orages magnétiques risquent de causer des variations temporaires d'une valeur de 1° par rapport à la direction du nord magnétique réel. Des points d'attraction magnétiques locaux tels que des voitures, un pont en métal ou un câble électrique peuvent causer des déviations supplémentaires. C'est pourquoi, la mesure des angles lus à l'aide d'une boussole doit être considérée avec circonspection.

Simple boussole de randonnée
Le type de boussole traité ici est celui qu'on utilise généralement lors d'une randonnée. Son viseur est très simple et la graduation circulaire est au mieux d'un degré (voir figure 46a). Cela qui explique pourquoi une boussole de ce genre n'est absolument pas adéquate pour réaliser des mesures d'angles précises. L'aiguille aimantée se déplace au-dessus d'un cadran que l'on peut tourner à la main. Des boussoles plus précises (et plus chères !) sont munies d'un cadran dont la graduation de 0,1° intégrée à l'aiguille aimantée rend le pivotement du cadran superflu.

Du fait de sa précision limitée, la boussole magnétique ne doit être utilisée que pour l'évaluation de la direction d'une seule ligne de référence. Il peut s'agir, par exemple, d'une base nécessaire à l'établissement d'un plan de construction sur un site ; voir ci-dessous.

Mesure d'angles azimuts avec une boussole magnétique
Lorsqu'elle est utilisée pour des travaux de topographie, la boussole est posée sur un support, comme s'il s'agissait d'une équerre d'arpenteur, même lorsqu'elle est conçue pour être tenue à la main. La visée de la boussole doit être dirigée vers le point où l'on doit déterminer l'angle azimut (Figure 46b). Un miroir situé au-dessus du cadran et positionné à 45°, permet d'obtenir une vue simultanée par la

visée et sur le cadran (non indiqué dans la figure 46a). Il faut faire tourner le cadran jusqu'à ce que les marques du nord et du sud coïncident avec les directions indiquées par les pointes de l'aiguille, tout en conservant la visée dans la direction voulue. On peut lire l'angle lorsque le cadran est dans la bonne position, (Figure 46c), par exemple, 328° (Figure 46d.)

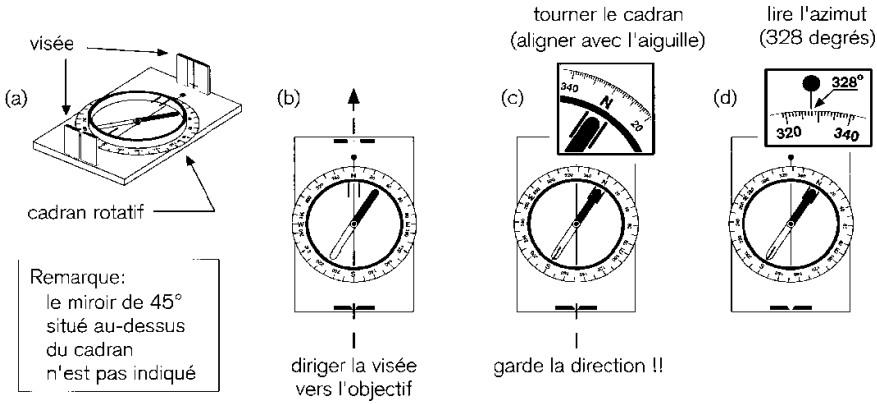


Figure 46 : La visée avec une boussole de randonnée et la lecture du résultat.

Pour une mise en carte, il est intéressant de déterminer l'angle séparant une ligne de base et une autre ligne physiquement évidente, par exemple, la ligne centrale d'un canal ou d'une route. Dans ce cas, les angles azimuts doivent être établis pour les deux directions. La figure 47 en montre un exemple.

Les angles azimuts sont mesurés sur un point de la ligne de base (en A) et sur un autre point de la ligne centrale (en B), voir figure 47a. L'angle azimut mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre à partir du nord vers la base est de 328° ; ce qui fait que l'angle allant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre est de - 32° (328° moins un cercle complet de 360°), voir figure 47b. L'angle partant de la base et allant vers la ligne centrale est égal à : +27° -(-32°) = 27° + 32° = 59°.

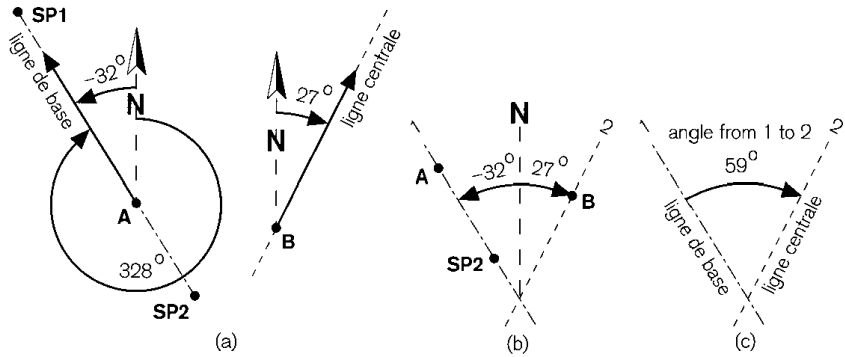
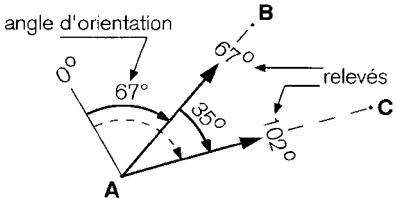


Figure 47 : Détermination de l'angle séparant une ligne de base d'une ligne centrale en mesurant leurs positions par rapport au nord aux points A et B à l'aide d'une boussole ; voir texte.

Utilisation d'un instrument d'arpentage

Comme nous l'avons déjà mentionné, les instruments d'arpentage optiques ne font pas l'objet de cet Agrodok, à l'exception des instruments de nivellement qui seront abordés au chapitre 4. Certains instruments de nivellement, mais pas tous, sont fournis avec un cercle horizontal permettant de réaliser des mesures angulaires approximatives. Certains présentent une graduation de 0,1°, ce qui permet des mesures d'angle d'une plus grande précision que celle qu'on peut obtenir avec une boussole de randonnée de bonne qualité.

Un instrument de nivellement ne comporte pas de boussole et il lui manque donc un élément d'indication de la direction. De plus, tous les instruments sont fixés sur un trépied, sans aucune référence extérieure pour le zéro (" 0 ") du cercle horizontal. Ce " 0 " indique une direction complètement arbitraire, ce qui est une caractéristique inhérente à presque tous les instruments d'arpentage permettant les mesures d'angle. Cela ne pose aucun problème car les relevés effectués sur l'instrument pour l'une des directions mesurées peuvent servir de direction de référence pour toutes les autres directions mesurées, voir figure 48. Une telle direction de référence est appelée " visée arrière " et sa valeur angulaire à partir de " zéro " constitue l'angle d'orientation.



Si A-B sert de direction de référence, l'angle compris entre A-B et A-C est égal à la différence entre les relevés de ces deux directions : 102° - 67° = 35°

Figure 48 : Mesure d'angles sur un plan horizontal avec un instrument d'arpentage. On choisit une direction qui sert de référence afin de déterminer les angles dans d'autres directions.

3.6 Application d'angles droits (90°) sur un plan vertical

Sur un plan vertical, pour tous les angles quels qu'ils soient, c'est le fil à plomb qui sert de direction de référence. Les plans nivelés sont perpendiculaires au fil à plomb, comme cela a été expliqué à la Sec. 3.1. Les angles droits à la verticale sont largement utilisés dans la construction de bâtiments tels que des maisons, des écoles, des ponts ou des barrages. Les sols doivent être posés à niveau et les murs dressés à la verticale. Pour y parvenir, les charpentiers utilisent un instrument appelé " niveau ". Cet instrument est utilisé depuis la nuit des temps.

Pour obtenir la direction de référence, tous les niveaux de charpentier se basent sur deux méthodes :

- Au moyen d'un liquide, soit dans un récipient ouvert (rare de nos jours) ou fermé et comportant une bulle d'air, c'est le système utilisé dans les niveaux modernes.

- Au moyen d'un fil à plomb. Cette méthode a été utilisée depuis l'antiquité et est connue sous le nom de cadre A.

Le niveau de charpentier moderne et le cadre A seront abordés dans cet Agrodok. Les niveaux de charpentier NE peuvent PAS être utilisés pour un nivellement précis sur des distances de plusieurs dizaines de mètres, ce qui est indispensable dans le cadre de la réalisation de la

majorité des structures hydrauliques. L'obtention d'une mise à niveau précise à l'aide d'un instrument de nivellement est traitée au chapitre 4.

Précision angulaire des niveaux

Le niveau de charpentier et le cadre A rigide peuvent être mis à l'horizontale (ou à la verticale) et offrent une précision de quelques millimètres par mètre (appr. 0,1 degré). Ce type de niveau ne permet pas un nivellement précis sur des distances de plus de quelques mètres.

Utilisation d'un niveau de charpentier moderne

Un niveau de charpentier moderne est fabriqué à partir d'un profil en aluminium rigide pourvu d'au moins deux bulles tubulaires, l'une à utiliser lorsque le niveau est à l'horizontale et l'autre lorsqu'il est à la verticale, voir figure 49. Ces niveaux sont disponibles dans des longueurs variant de quelques décimètres à quelques mètres. Les plus longs comportent plusieurs bulles horizontales et verticales.

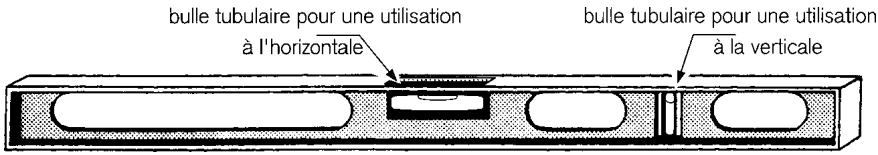
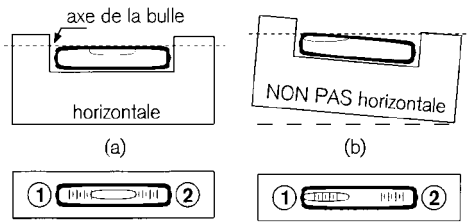


Figure 49 : Les niveaux de charpentier modernes comportent deux bulles, l'une pour une utilisation à l'horizontale et l'autre pour une utilisation à la verticale. Ils existent dans des dimensions allant de quelques décimètres à quelques mètres.

L'axe d'une bulle tubulaire indique un plan à niveau. Lorsque la bulle se trouve au centre (indiqué par une graduation), le niveau est exactement horizontal (ou vertical), voir figure 50a. Ainsi, lorsque la bulle n'est pas au centre, la boussole n'est pas dans une position horizontale ou verticale (Figure 50b). Ce principe n'est applicable que lorsque la bulle est correctement alignée sur l'axe longitudinal du niveau (ou sur

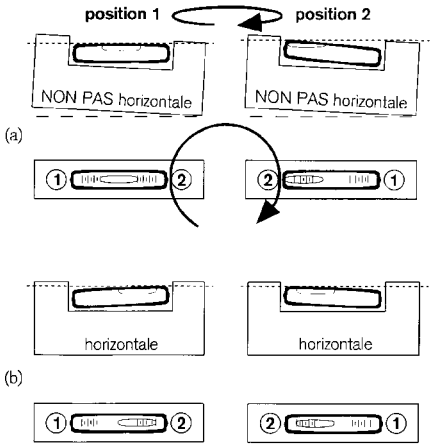
sa perpendiculaire). C'est pourquoi, un niveau doit toujours être utilisé dans deux positions opposées.



(a) A l'horizontale : la bulle doit se stabiliser exactement au centre des deux séries de graduations.

(b) La bulle n'est pas au centre du fait que la base n'est pas horizontale. Valable uniquement si la bulle est bien réglée.

Figure 50 : Niveau dont la bulle est correctement alignée.



Pour vérifier l'alignement de la bulle :

1. Poser le niveau sur une surface plane ou une poutre que l'on puisse incliner progressivement. Incliner le support jusqu'à ce que la bulle se trouve dans la position centrale indiquée par la graduation.
2. Faire pivoter le niveau dans la position opposée. Si la bulle ne revient pas au centre, c'est que l'axe n'est pas dans l'alignement de l'axe longitudinal du niveau.

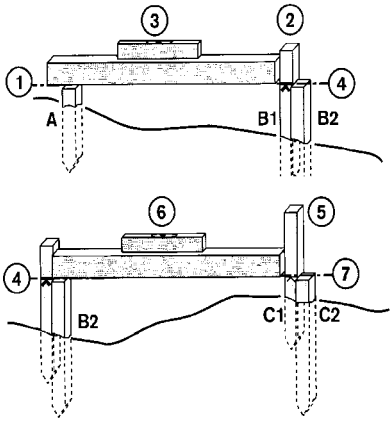
Utilisation d'une bulle incorrectement alignée : Incliner la surface sur laquelle repose le niveau jusqu'à ce que la bulle revienne exactement à la même graduation dans les deux positions inverses du niveau.

Figure 51 : (a) Méthodes de vérification de l'alignement correct de la bulle. (b) Méthode permettant d'utiliser correctement un niveau dont la bulle est mal alignée.

L'utilisation du niveau dans deux directions opposées permet de vérifier l'alignement de la bulle, voir l'illustration et l'explication de la figure 51a. Mais surtout, cette méthode permet d'utiliser le niveau

correctement, même si la bulle est mal alignée, voir figure 51b. Certains niveaux permettent de corriger l'alignement de la bulle, mais ce n'est pas le cas des modèles les moins chers.

Positionner des piquets ou des pieux à des hauteurs égales
En utilisant une poutre de trois mètres de long, il est possible de poser à la même hauteur des piquets ou des planches de repère. La poutre doit être absolument droite et rigide. Son épaisseur ne peut varier de plus de quelques millimètres sur toute sa longueur. La procédure de positionnement est expliquée dans la figure 52, et peut également être utilisée pour des angles de pente, voir Sec 3.7.



1. Placer le piquet A à la hauteur voulue.
2. A l'aide d'une poutre, placer le piquet B1 à une distance du piquet A légèrement inférieure à la longueur de la poutre. Placer le piquet B1 à une hauteur supérieure à celle du piquet A.
3. Maintenir la poutre à la hauteur voulue à l'aide d'un niveau. Faire une marque sur le piquet B1 pour noter la bonne hauteur.
4. Enfoncer le piquet B2 à la hauteur indiquée sur le piquet B1.

5-7 Répéter les étapes 2-4. Placer le piquet C2 à la même hauteur que les piquets A et B2.

Figure 52 : Utilisation d'une poutre rectiligne et d'un niveau de charpentier pour planter successivement des piquets de telle sorte que leurs têtes soient à la même hauteur.

Utilisation d'un cadre A (niveau de charpentier traditionnel)
La construction d'un niveau de charpentier traditionnel explique son nom. On peut le construire relativement facilement et de manière artisanale, mais il faut respecter certaines conditions, voir figure 53.

Le fil à plomb remplace la bulle pour fournir la direction verticale de référence. Malgré son apparence très différente, on se sert du cadre A dans le même but et de la même manière qu'un niveau de charpentier moderne, mais son utilisation est restreinte à un nivellement horizontal. D'autre part, le fil à plomb permet également d'utiliser le cadre A comme un clinomètre (Sec. 3.7).

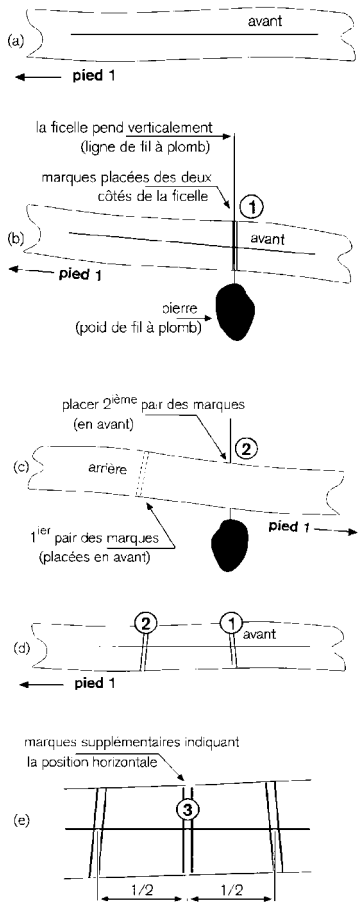
Attention:
il vaut mieux que les fixations soient maintenues fermement avec des chevilles et des écrous que simplement attachées comme sur l'illustration

1. Le matériau des deux barres obliques et de la barre transversale doit être léger, tout en étant suffisamment rigide pour que le cadre ne se déforme pas. Les trois fixations reliant les trois éléments les uns aux autres doivent empêcher tout mouvement. Des cordes conviennent parfaitement pour attacher les barres, à condition d'ajouter des boulons ou des clous pour que les fixations ne se relâchent pas.
2. La ficelle doit être fine, d'une épaisseur régulière et souple. On peut très bien se servir d'une pierre pour former le fil à plomb, à condition qu'elle soit suffisamment lourde pour maintenir la ficelle bien droite.
3. On place une marque de niveau sur la barre transversale selon la procédure d'alignement de la figure 54.

Figure 53 : Construction d'un niveau de charpentier traditionnel également appelé cadre A.

Tracer des courbes de niveau avec un cadre A

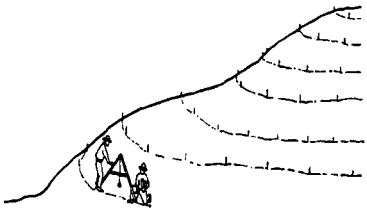
On peut se servir d'un grand cadre A, d'une base d'environ deux mètres, pour tracer des lignes nivelées (courbes de niveau) sur un terrain. Cette méthode étant peu précise, il vaut mieux limiter la longueur tracée à environ une centaine de mètres. De toute manière, il est fortement conseillé de terminer une série de points de courbes de niveau sur un point déterminé qui se trouve également à la hauteur requise. Les points de références peuvent être établis à l'aide d'un clinomètre (Sec. 3.7).



1. Dessiner une ligne droit sur une bande de carton, puis fixer cette bande au milieu de la barre transversale, voir (a).
2. Placer le cadre A sur une surface plate plus ou moins horizontale.
3. Une fois que le fil à plomb s'est immobilisé, dessiner une marque sur le carton des deux côtés de la ficelle ; voir (b).
4. Faire pivoter le cadre A dans la position inverse en replaçant les pieds exactement au même endroit.
5. Répéter l'étape 2, voir (c). Il y a maintenant deux séries de marques sur la bande de carton ; voir (d).
6. Poser le cadre A à plat sur le sol. A l'aide d'une règle ou d'un compas, diviser la distance comprise entre les deux séries de marques exactement entre deux parties égales ; voir (e).
7. Poser le cadre A sur une surface plane ou sur une poutre que l'on puisse incliner progressivement. Incliner la surface ou la poutre jusqu'à ce que la ficelle se trouve à la position centrale marquée sur le carton.
8. Faire pivoter le cadre A dans la position inverse. Si la ficelle ne revient pas sur la position centrale, répéter les étapes 2-8 jusqu'à ce qu'elle soit centrée à l'étape 8.

Figure 54 : Procédure d'alignement permettant de déterminer la marque de niveau sur un cadre A.

Chaque courbe de niveau débute à un point qui a été tracé à la hauteur requise pour cette courbe (point de référence), voir figure 55. C'est pourquoi, les premiers piquets doivent être plantés en direction de la pente pour indiquer les positions auxquelles les courbes de niveau devront commencer ou terminer. Parmi les applications possibles on trouve, par exemple, la construction de terrasses ou de petits canaux d'irrigation.



1. A la position (1), le pied 1 repose à côté du point de référence (piquet 1). Le pied 2 est placé de telle sorte que la ficelle se trouve à la marque de l'horizontale. Enfoncer le piquet
2. Faire pivoter le cadre A sur le pied proche du piquet 2 et le placer en position (2). L'autre pied est ensuite placé de telle sorte que la ficelle se trouve à la marque de l'horizontale. Enfoncer le piquet 3 … et ainsi de suite.

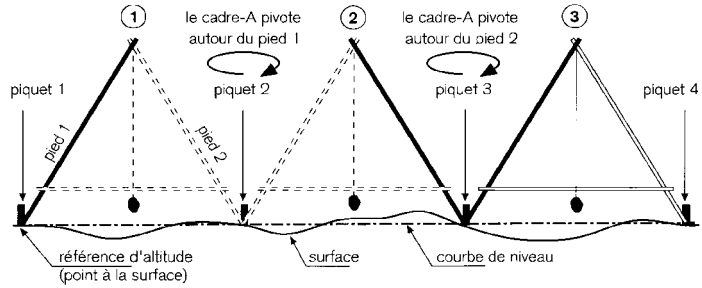


Figure 55 : (a) Déterminer des courbes de niveau avec un cadre A. (b) Rotation du cadre.

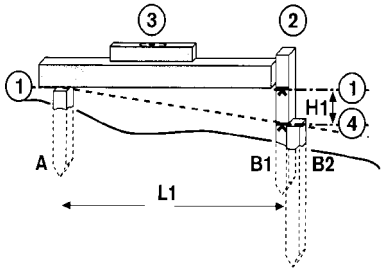
La rotation du cadre A annule une éventuelle erreur d'alignement de la marque de niveau toutes les deux positions. C'est pourquoi il est préférable de faire pivoter le cadre plutôt que de le faire glisser lors de son déplacement le long d'une courbe de niveau.

3.7 Traitement des angles de pente

À la fin de la section 3.3, nous avons présenté deux unités permettant d'exprimer le degré de la pente : l'inclinaison (la pente) et l'angle de pente. L'inclinaison peut être déterminée avec un niveau et une poutre de la même manière qu'une ligne de niveau, voir Sec. 3.6. Le clinomètre est spécifiquement conçu pour mesurer (ou déterminer) les angles de pente et les inclinaisons sur une étendue de plus de quelques mètres.

Utilisation d'un niveau pour déterminer une pente

Il est possible d'utiliser un niveau de charpentier moderne (niveau à bulle) aussi bien qu'un cadre A pour déterminer une pente, mais la procédure diffère légèrement.



Les étapes 1-3 sont identiques à celles qui permettent de déterminer une ligne horizontale, voir figure 52.

4. Mesurer la longueur L1 et la multiplier par la pente voulue, par exemple 1:10. Placer une seconde marque sur le piquet B1 à une distance H1 en dessous de la marque de niveau (1/10 de L1), puis enfoncer le piquet B2 à ce niveau.

5-7. Répéter les étapes 2-4 pour placer les piquets suivants.

Figure 56 : Détermination d'une pente spécifique avec un niveau et une poutre.

Pour un niveau à bulle, la procédure est presque identique à celle décrite à la figure 52. La différence principale réside dans le fait qu'il faut tout d'abord calculer la différence de hauteur entre deux piquets successifs avant de pouvoir la reporter verticalement sur un piquet, comme l'explique la figure 56. L'avantage d'un cadre A par rapport à un niveau à bulle, c'est qu'il peut être étalonné pour n'importe quelle inclinaison. La procédure d'étalonnage est presque identique à celle décrite à la figure 54. La différence principale réside dans le fait qu'il faut commencer par positionner la poutre précisément à l'inclinaison requise, comme indiqué en figure 56. Ensuite, le cadre A est étalonné dans les deux positions de l'inclinaison de cette poutre. Une fois cette opération effectuée, on peut mettre en place les piquets directement comme avec une poutre à l'horizontale, comme on le voit en comparant les figure 56 et figure 57.

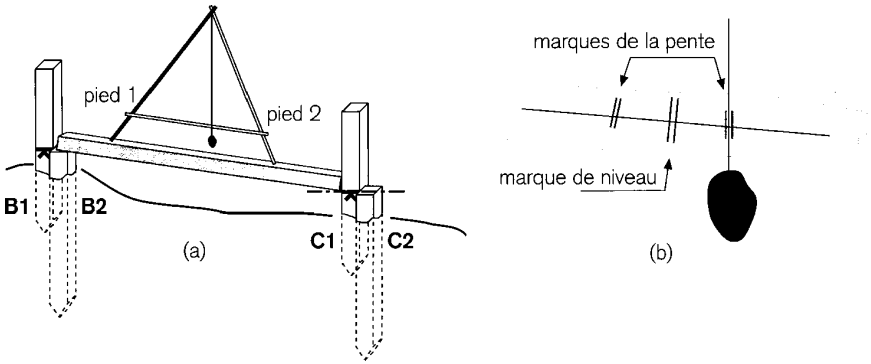


Figure 57 : (a) Le cadre A permet le positionnement d'un piquet directement à l'inclinaison requise. (b) Le cadre A doit être positionné sur la marque d'inclinaison étalonnée.

Utilisation d'un clinomètre pour déterminer (ou mesurer) l'angle d'une pente

Du point de vue du concept, un clinomètre ne diffère en rien d'un niveau, puisque sa construction est basée soit sur une bulle, soit sur un fil à plomb. La différence principale est que le clinomètre est spécifiquement conçu pour déterminer ou mesurer des angles de pente ou des inclinaisons. Un cadre A, par exemple, peut être transformé en clinomètre en installant sur la barre transversale une graduation étalonnée, en degrés (Figure 58) ou en gradients. Avec une corde d'un mètre exactement (1 000 mm) du point de suspension à la graduation de la barre transversale, une division de deux millimètres entre les marques est équivalente à une inclinaison de 1:500 ou à un angle d'environ 0,1 degré.

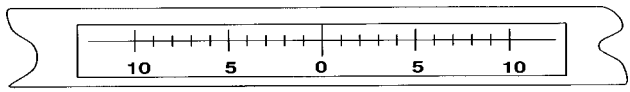


Figure 58 : Une graduation étalonnée en degrés et mise en place sur la barre transversale d'un cadre A permet de mesurer des angles (on peut également y indiquer une division en gradients).

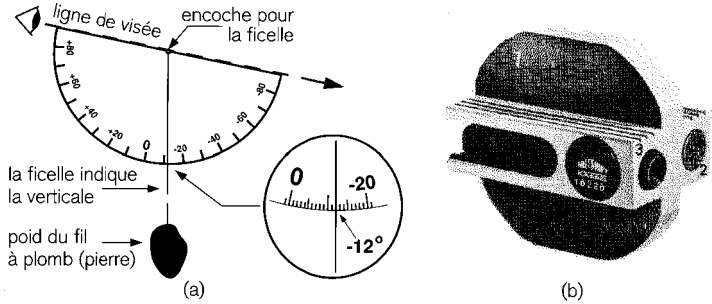


Figure 59 : (a) Un clinomètre " fait maison " fabriqué à partir d'un rapporteur. (b) clinomètre Breithaupt

Une pierre, un simple rapporteur en plastique avec une graduation tous les 1° et un bout de ficelle très fine et souple constituent tous les éléments nécessaires pour réaliser soi-même un clinomètre, figure 59a. Plus la ficelle est longue, meilleur sera l'amortissement des oscillations. Toutefois, cet instrument simple, ne permet pas de viser tout en lisant en même temps les mesures sur le cercle.

Un clinomètre fabriqué en usine (Figure 59b) selon le même principe permet à la fois de viser et de lire. Malheureusement, même un clinomètre simple se situe dans la même gamme de prix qu'une boussole de bonne qualité.

Le clinomètre doit être dirigé vers un point situé à hauteur des yeux, pour éviter une lecture erronée des angles. On y parvient facilement en utilisant deux jalons présentant une marque visible à hauteur des yeux. Cette procédure garantit une mesure d'angle égale à l'angle de la pente, voir figure 60a. La personne qui manipule le clinomètre tient l'instrument tout prêt de la marque d'un jalon qu'elle tient de l'autre main. Ensuite, il vise la marque du jalon tenu par une autre personne en face (Figure 60b) et lit l'angle (ou l'inclinaison).

Le clinomètre peut s'avérer très utile pour réduire la longueur d'inclinaison mesurée sur un terrain en pente douce et égale. Voir Sec. 3.3 pour une explication de la réduction des longueurs sur pente.

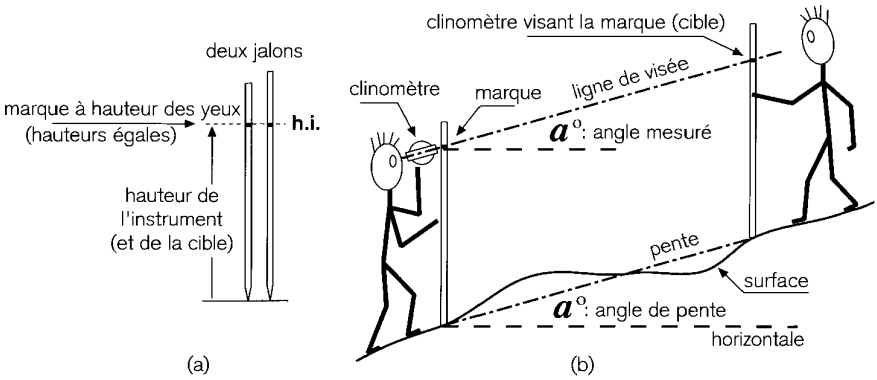


Figure 60 : Détermination d'un angle de pente avec un clinomètre. (a) On se sert de deux jalons ou deux bâtons présentant des marques à hauteur identique pour marquer une ligne de visée parallèle à la pente. (b) L'angle mesuré pour cette ligne de visée est identique à l'angle de la pente.

4 Niveler à l'aide d'un instrument

Le sujet de ce chapitre pourrait à lui seul faire l'objet d'un traité de la taille de cet ouvrage. Aussi, les pages qui suivent n'offrent-elles que quelques concepts de base (Sec. 4.1) ainsi qu'une description de l'équipement le plus répandu (Sec. 4.2). Ce chapitre est trop restreint pour pouvoir aborder l'application de ces concepts et de cet équipement. Seules les méthodes sont présentées, et encore, assez brièvement (Sec. 4.3). Enfin, nous aborderons certains aspects permettant d'éviter les erreurs (Sec. 4.4).

4.1 Concepts

Tout comme un niveau de charpentier, un instrument de nivellement est construit à partir d'un système fournissant une direction de référence horizontale par rapport au fil à plomb, selon les explications de la section suivante. Ce type d'instrument est pourvu d'un viseur optique, ce qui n'est pas le cas d'un niveau de charpentier.

Bien qu'un niveau optique puisse être tenu en main, il est généralement posé sur un trépied, voir figure 61. Les niveaux tenus à la main ne sont pas abordés dans cet Agrodok, car leur utilisation est plutôt limitée. Le niveau d'eau ne sera pas non plus traité. Ce type de niveau n'est pas seulement limité dans son application, mais il est également difficile à utiliser correctement.

À la base, un instrument de nivellement sert à exprimer la différence entre l'élévation d'un point dont la " hauteur " (la distance par rapport à une hauteur de référence) est déjà connue et celle d'un autre point dont on ne connaît pas encore la hauteur. Une différence d'élévation mesurée est appelée une " différence de hauteur ".

Les hauteurs mesurées par nivellement le sont toujours selon une méthode différentielle

Le concept expliqué ci-dessus implique, en fait, qu'au cours d'une procédure de nivellement, les hauteurs de deux points sont comparées par rapport à la ligne de visée horizontale de l'instrument. La manière

la plus simple de saisir ce concept est d'utiliser à nouveau une approche "de-à" L'instrument est tout d'abord dirigé en direction d'une mire placée à un point dont la hauteur est connue (point de référence), voir figure 61a. Sur sa partie avant, la mire est pourvue d'une graduation en centimètres ou en millimètres, voir figure 69 & figure 71.

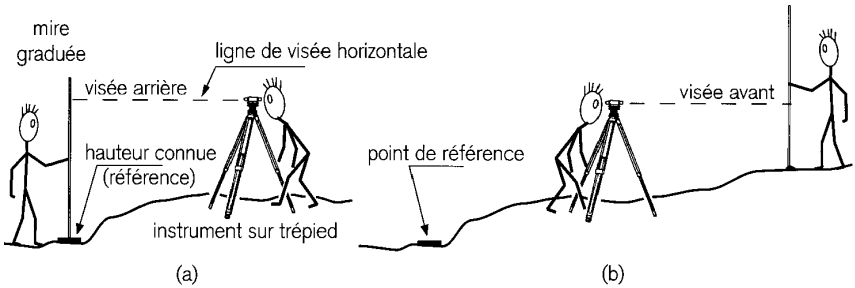


Figure 61 : (a) Le nivellement débute en plaçant l'instrument sur un point arbitraire et la mire graduée à un point dont la hauteur est connue (visée arrière) (b) Ensuite, la mire est déplacée au point suivant (visée avant) alors que l'instrument reste à la même place.

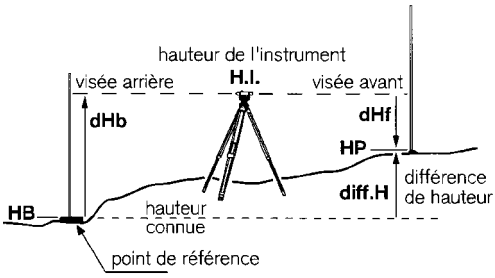
La distance verticale entre le point où se trouve la mire et la ligne de visée nivelée sont lue à la position indiquée par un repère de visée horizontal, dans le système optique du viseur. Ensuite, la mire graduée est déplacée vers l'autre point alors que l'instrument reste à sa place, voir figure 61b. On répète la procédure de mesure et l'on soustrait le deuxième résultat au premier. La différence, autrement dit "l'augmentation moins la baisse", exprime la différence de hauteur entre les deux points, voir figure 62.

Le calcul de la hauteur inconnue peut être rédigé de deux manières :

- en commençant à la hauteur HB : HB + dHb - dHf = HP
- ou en commençant à la hauteur HP : HP + dHf - dHb = HB

Les deux expressions peuvent être réécrites ainsi : HB + dHb = HP + dHf = H.I.

Les trois élévations sont exprimées par des hauteurs calculées par rapport à une élévation de référence artificielle ayant une " hauteur zéro" : HB, H.I. et HP.



Suivre une approche « de - à » :

1. Commencer à l'un des deux points et ***augmenter (+)*** *en partant de ce point jusqu'à la ligne de visée dont la hauteur est H.I.*
2. **Rester à H.I.** jusqu'à l'autre point.
3. Puis **baisser (-)** de H.I. jusqu'à la hauteur du point recherché.

Figure 62 : La différence de hauteur (diff. H) équivaut à " l'augmentation moins la baisse " de la hauteur d'un point à celle de l'autre point, en passant par la hauteur H.I de la ligne de visée mise à niveau.

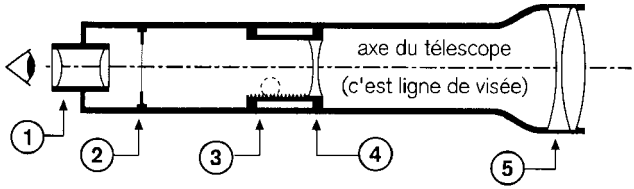
4.2 Équipement

Instruments de nivellement

Bien que les télescopes puissent être différents les uns des autres au niveau des détails optiques, leur conception générale ressemble à la figure 63. Le télescope est fixé sur son trépied au moyen d'une tête de mise à niveau ou trybrach, ce qui permet au télescope de pivoter autour d'un axe vertical. Comme la tête du trépied est toujours inclinée, le trybrach est muni de trois vis (certains en ont quatre), afin de mettre le télescope à niveau sur son trépied. Un niveau circulaire indique si le télescope est approximativement mis à niveau. Puis c'est la ligne de visée qu'il faut niveler avec la plus grande précision. Pour ce faire, il existe deux possibilités.

La solution la plus simple est d'utiliser une bulle tubulaire installée sur le télescope de la même manière qu'elle est utilisée avec un niveau

de charpentier moderne. Toutefois, la bulle sur un instrument de nivellement est beaucoup plus précise que celle utilisée sur un niveau de charpentier, voir Sec. 4.4. L'autre solution est une alternative plus pratique, basée sur le principe du fil à plomb. Cette solution est essentiellement un affinement du concept du simple cadre A. La différence principale, c'est que le fil à plomb optique met la ligne de visée automatiquement à niveau.



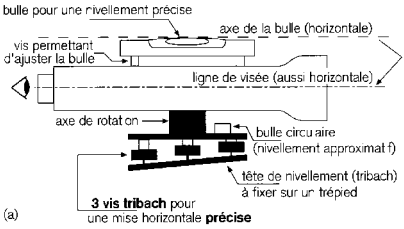
L'oculaire (1) est réglé sur le plan du réticule (2).
A l'aide d'un bouton et d'une molette (3), une lentille intermédiaire (4) met au point l'image de la lentille objective du télescope, également dans le plan du réticule (2).

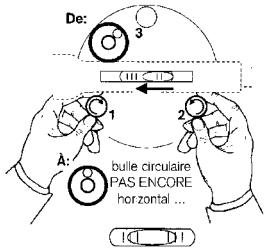
Figure 63 : Les télescopes d'un grossissement de 15X à 45X permettent la lecture de la graduation d'une mire sur la ligne de visée indiquée par des repères de visée, voir figure 71 & 72.

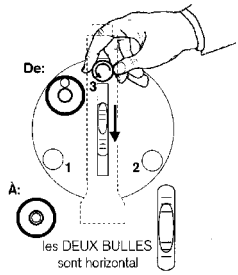
Instruments munis d'une bulle

Le niveau dit " de collimation " est le plus simple de tous, car le télescope doit être mis à niveau à l'aide des trois vis du trybrach, ce qui est une procédure relativement peu aisée, voir figure 64.

La mise à niveau du télescope par le centrage de la bulle tubulaire peut être simplifiée en ajoutant une vis de basculement au niveau de collimation, voir figure 65. Maintenant, les vis de trybrach sont utilisées uniquement pour mettre l'instrument approximativement à niveau de la même manière qu'en figure 64.


bulle pour une nivellement précise
axe de la bulle (horizontale)
vis permettant d'ajuster la bulle
ligne de visée (aussi horizontale)
axe de rotation
bulle circulaire (nivellement approximatif)
tête de nivellement (tribach) à fixer sur un trépied
3 vis tribach pour une mise horizontale précise
(a)





La mise à niveau d'un niveau de collimation

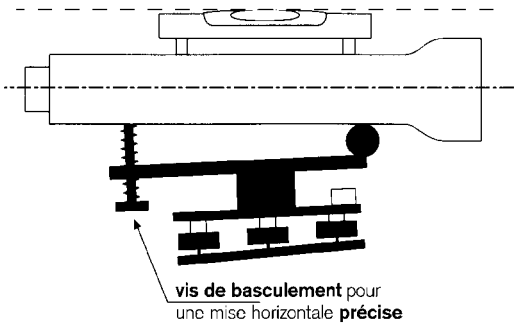
On commence par mettre le télescope approximativement à niveau en tournant les vis « tribach », et en centrant la bulle circulaire. Puis on le met précisément à niveau en utilisant à nouveau des vis tribach et en observant la bulle tubulaire. La procédure à suivre est la suivante :

1. Mettre le télescope parallèlement à la ligne imaginaire située au-dessus des deux vis tribach (1 & 2). Faire tourner les vis simultanément dans des directions opposées jusqu'à ce que les deux bulles soient dans la position indiquée en (b).
2. Faire pivoter le télescope d'un quart de tour. Faire tourner la troisième vis (3) jusqu'à ce que les deux bulles soient dans la position indiquée en (b).
3. Faire pivoter le télescope d'un quart de tour supplémentaire dans la même direction qu'à l'étape 2. Vérifier si la bulle tubulaire est toujours centrée. Si ce n'est pas le cas, ajuster sa position à l'aide des vis 1 & 2, faire pivoter à nouveau le télescope dans la direction inverse (voir étape 1) et vérifier à nouveau la bulle.
4. Viser la mire avec le télescope et vérifier si la bulle tubulaire est toujours centrée. Si ce n'est pas le cas, centrer la bulle à l'aide de la vis la plus proche du télescope.

*) *S'il est impossible de centrer la bulle, c'est que son axe n'est pas perpendiculaire à l'axe de rotation.*

Figure 64 : Niveau de collimation. Le télescope doit être mis à niveau avec les vis du trybrach.

Malheureusement, l'erreur occasionnée par un télescope mal mis à niveau ne peut être détectée que dans une procédure en boucle fermée. L'idée de base est qu'une série de mesures de hauteur commence et se termine à un point dont la hauteur est connue (point de référence), voir Sec. 4.3.



La mise à niveau d'une nivelle d'alidade

La procédure est presque la même que pour un niveau de collimation, voir figure 64. La principale différence, c'est que la bulle tubulaire est centrée au moyen de la vis de basculement. Il faut procéder au centrage après avoir diriger le télescope vers la mire et avant d'avoir lu les résultats.

Figure 65 : Un niveau d'alidade est un niveau de collimation pourvu d'une vis supplémentaire pour mettre le télescope à niveau.

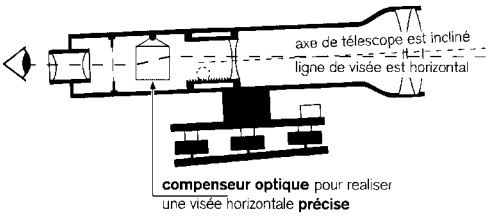
Le problème qui risque de se poser lorsqu'on utilise des niveaux à bulle, c'est que si le géomètre oublie de mettre à niveau le télescope, toutes les hauteurs mesurées seront fausses tant que le télescope n'aura pas été réglé. Il faut de l'expérience pour utiliser correctement un niveau à bulle. Il est essentiel de bien assimiler la procédure à suivre : **toujours commencer par mettre à niveau la ligne de visée avant de lire le résultat sur la mire.**

Instrument de mise à niveau automatique

Dans un grand nombre d'applications, il est impossible ou incommode d'appliquer une procédure en boucle fermée. On a trouvé donc une solution alternative qui permet la mise à niveau automatique de la ligne de visée en éliminant complètement la bulle tubulaire. L'axe optique du télescope ne sera donc jamais exactement à niveau. Pour compenser le basculement, un élément optique situé dans le télescope met la ligne de visée à niveau, voir figure 66. Les niveaux modernes auto-

matiques sont très robustes et fiables et peuvent de plus être utilisés dans des conditions difficiles.

Les niveaux automatiques sont particulièrement pratiques pour ceux qui n'utilisent qu'occasionnellement un instrument de mise à niveau, du fait que **la ligne de visée reste toujours horizontale**.


axe de télescope est incliné
ligne de visée est horizontal
compenseur optique pour realiser
une visée horizontale **précise**

Un compensateur optique est suspendu dans la ligne de visée et suit constamment la direction du fil à plomb, comme le poids d'un cadre A. L'effet optique qui en résulte est que la ligne de visée reste horizontale malgré l'inclinaison de l'axe optique.

Figure 66 : Un instrument automatique met à niveau la ligne de visée d'un télescope incliné.

Indispensable : une mise au point nette et sans parallaxe
Une mise au point correcte doit s'effectuer en deux étapes (figure 67 & figure 68) on règle d'abord l'oculaire, puis le télescope. Ne jamais inverser l'ordre de ces opérations !

La première étape " mise au point de l'oculaire " s'effectue au commencement d'une série de mesures exécutées dans l'ordre suivant :

a. Dérégler complètement le télescope, à l'aide de la molette de netteté (Figure 63, numéro 3), ce qui donne une image complètement trouble.

b. Tourner l'oculaire à l'arrière du télescope dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, jusqu'à ce qu'il s'arrête. Cela rend le réticule invisible. Attendre quelques secondes, puis tourner lentement l'oculaire dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que les

repères de visée deviennent à nouveau légèrement visibles (Figure 67a).

c. Continuer à tourner lentement l'oculaire dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à ce que les repères de visée soient d'une parfaite netteté. Tourner encore un tout petit peu jusqu'à ce que l'image se brouille à nouveau légèrement.

d. Faire à nouveau tourner l'oculaire dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (c) jusqu'à ce que le réticule soit à nouveau parfaitement net (d). Regarder la graduation figurant autour de l'oculaire et noter la position de la marque de l'index (e).

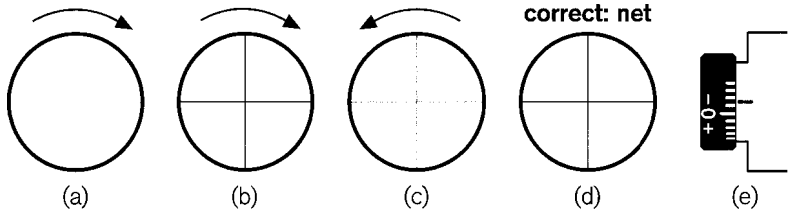


Figure 67 : Étape 1 : la mise au point de l'oculaire doit se faire par rapport au réticule.

La deuxième étape " mise au point du télescope " doit avoir lieu avant toute mesure, l'oculaire étant réglé correctement. Les opérations s'effectuent dans l'ordre suivant :

a. Placer une main ou un morceau de papier devant le télescope et vérifier si les repères de visée sont toujours visibles et nets. Si ce n'est pas le cas (Figure 68a ou b), répéter l'étape 1.

b. Viser la mire ou la personne qui la tient. Tourner la molette de netteté en avant et en arrière jusqu'à ce que l'image soit la plus nette possible.

c. Déplacer la tête derrière l'oculaire. Si les repères de visée ont l'air d'être " fixés " à l'image, le télescope est bien réglé (d).

Mais, si le réticule bouge légèrement par rapport à l'image (c), c'est qu'il a un effet de parallaxe (différence de visée). Répéter alors l'étape 1. Lorsque les repères de visée restent fixés sur l'image, le réglage du télescope est net et dépourvu de parallaxe (d).

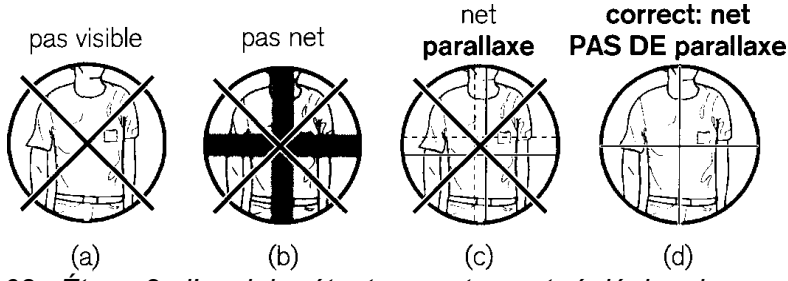
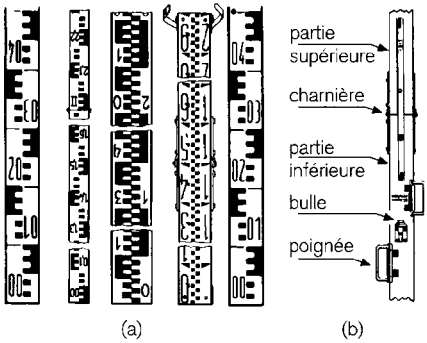


Figure 68 : Étape 2 : l'oculaire étant correctement réglé, la mise au point du télescope doit se faire en visant un objet à distance et sans parallaxe.

Utilisation et lecture de la mire

Le support d'une mire et son utilisation

Lorsque la hauteur d'une surface doit être déterminée à l'aide d'un certain nombre de mesures, à partir d'une position unique, voir figure 62, on place la mire directement sur cette surface. Il n'est pas nécessaire de poser un support sous la mire, il vaut même mieux s'en abstenir, le "zéro" de la graduation d'une mire se trouvant à sa base, voir figure 69. L'utilisation d'un support induirait une erreur de lecture égale à la hauteur de ce support. Cependant, lorsqu'on réalise un nivellement en boucle fermé, voir figure 74, l'instrument est déplacé de station en station. La mire doit alors rester à la même position, tout en étant tournée vers la position suivante de l'instrument. Si la mire se trouve sur une surface meuble ou inégale, sa base changera légèrement de hauteur. Étant donné que la précision à la verticale de mesures en boucle fermée se joue au millimètre près, tout déplacement vertical de la mire, aussi réduit soit-il, est néfaste et doit donc être évité. Il faut donc dans ce cas poser la mire sur un support, dans toutes ses positions.

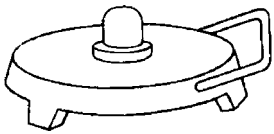


(a) Il n'y a pas de « graduation de mire standard ». La graduation E convient très bien à une utilisation générale. Elle est composée de E alternativement noirs (ou rouges) et blancs, d'une hauteur d'exactement 5 cm chacun. Les nombres indiquent les mètres et les décimètres qui sont séparés par une virgule.

(b) Deux poignées à l'arrière et une bulle circulaire facilitent le maintien de la mire à la verticale. Les mires ont une longueur de 2 à 4 mètres. Des charnières permettent de les replier pour les transporter.

Figure 69 : (a) Face avant de mires comportant diverses graduations. (b) Arrière d'une mire pliable. La bulle sert à vérifier que la mire est bien verticale.

Les points marqués par des pierres, des piquets, des tubes en métal etc. (voir Sec. 3.2), offrent un support vertical suffisant pour la mire. Sur les points intermédiaires, un support temporaire est nécessaire. Bien qu'il existe des supports en fonte conçus spécialement pour cet usage, voir figure 70, une pierre à la base plate et à la surface bombée fera tout aussi bien l'affaire. En case de mesures en boucle fermée, l'utilisation d'un support n'entraînera pas d'erreur de hauteur, voir les explications en Sec. 4.3.



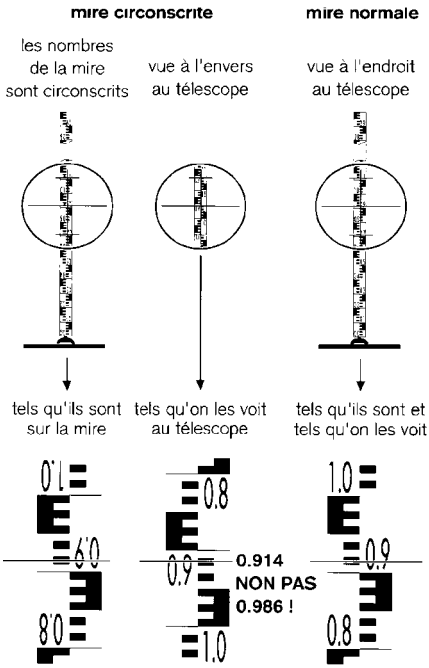
Il faut placer la mire sur un support solide pour deux raisons : (1) pour marquer un point intermédiaire ; (2) pour empêcher que la mire ne s'enfonce dans le sol.

Figure 70 : Support en fonte pour mire, conçu pour être utilisé à des points intermédiaires au cours de mesures en boucle fermée.

Graduation de la mire et orientation de la vue

La graduation de la partie avant d'une mire peut considérablement varier d'une mire à l'autre, comme vous pouvez le constater à la figure 69. Bien qu'il s'agisse d'une tâche plutôt fastidieuse, il est possible de réaliser soi-même une mire pourvue d'une " graduation E ".

Tous les instruments de nivellement modernes sont équipés d'un télescope avec une vue à l'endroit. Un grand nombre d'instruments plus anciens, ou récents mais bon marché, offrent une vue renversée de haut en bas. Ces instruments provoqueront inévitablement des problèmes s'ils sont utilisés par des personnes inexpérimentées, comme le montre la figure 71.


mire circonscrite
mire normale
les nombres de la mire sont circonscrits
vue à l'envers au télescope
vue à l'endroit au télescope
tels qu'ils sont sur la mire
tels qu'on les voit au télescope
tels qu'ils sont et tels qu'on les voit
0.914
NON PAS
0.986 !

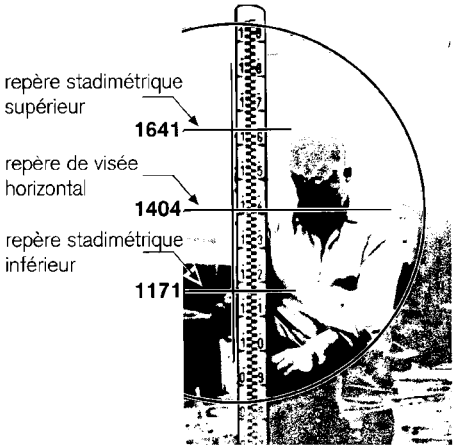
Toutes les mires graduées ont le « zéro » en bas, quel que soit leur type de graduation.
Il est important que les nombres situés à côté de la graduation puissent être lus à l'endroit dans le télescope.
L'image observée à travers le télescope peut être orientée à l'endroit ou à l'envers.
Les nombres figurant sur la mire doivent être dans le même sens.
Il faut beaucoup d'entraînement pour lire correctement une mire dont la graduation est à l'envers. On fait facilement une erreur comme le montre la figure ci-contre.
Il faut éviter qu'un instrument de nivellement équipé d'un télescope dont la vue est renversée de haut en bas soit utilisé par une personne qui n'aurait pas été formée parfaitement à l'utiliser correctement.

Figure 71 : Un télescope avec vue renversée de haut en bas requiert une mire inversée et de l'entraînement...

Lecture d'une mire selon trois repères de visée

Le champ de vision du télescope comporte quatre repères de visée : un repère vertical et un repère horizontal (repère médian) formant une croix, ainsi que deux repères plus courts à distance égale du repère de visée horizontal, voir figure 72. Ces derniers repères sont les traits stadimétriques. On lit les mesures sur la mire à chacun de ces trois repères horizontaux selon une procédure expliquée à la figure 72. On obtient les résultats suivants :

- La hauteur (mm) de la ligne de mire à partir du bas de la mire.
- La longueur (m) de l'instrument à la mire.



Lecture de la mire selon trois repères de visée :

1. Lire le repère médian horizontal (1404 mm).
2. Lire les repères stadimétriques supérieur et inférieur (1641 & 1171). Ajouter ces deux mesures (2812) puis diviser par 2. Comparer le résultat avec celui du repère médian (1404) ; la différence doit être inférieure à 1 (mm). Si ce n'est pas le cas, répéter les trois lectures jusqu'à ce que cette condition soit remplie.
3. Soustraire la mesure du repère inférieur à celle du repère supérieur (470), puis diviser par 10. Le résultat est la longueur qui sépare l'instrument de la mire en mètres (47,0 m).

Figure 72 : Lecture d'une mire au moyen d'un repère de visée horizontal en croix et de deux traits stadimétriques.

4.3 Méthodes

Le nombre d'applications d'un instrument de nivellement est potentiellement élevé. Même les applications les plus fréquentes sont trop nombreuses pour être traitées dans ce manuel. C'est pourquoi, nous

n'aborderons que deux méthodes très différentes à la base. L'une consiste à couvrir de courtes distances alors que l'instrument est positionné sur une seule station ; l'autre traite du nivellement sur de plus longues distances, ce qui nécessite le placement des instruments sur plusieurs stations. Pour obtenir des résultats fiables, cette dernière méthode requiert ce que l'on appelle une boucle fermée.

Avant la lecture : vérifier si le télescope est bien à niveau, voir figure 64, et si les fils du réticule sont visibles sans aucune parallaxe, voir figure 68.
Pendant la lecture : pour éviter de modifier la ligne de visée, ne toucher ni l'instrument, ni le trépied

Nivellement à partir d'une station unique

À la base, cette méthode implique une application multiple de la procédure illustrée et expliquée aux figure 61 & figure 62. À partir d'une position unique et d'un seul point de référence, soit on mesure la hauteur d'un certain nombre de points, soit ces points sont positionnés à la hauteur requise (marquée par la tête des piquets) par rapport à la hauteur du point de référence. Si on ne dispose encore d'aucun point de référence, on marque un point de manière permanente (figure 19) et on lui affecte une hauteur arbitraire, par exemple, exactement cent mètres (100 000 mm).

Les points à niveler peuvent être soit alignés, comme c'est nécessaire pour des profiles et des coupes, soit répartis aléatoirement sur une zone (pour une carte de courbes de niveau) ou espacés régulièrement (pour un plan d'égalisation).

Les courbes de niveau peuvent être établies plus précisément et plus facilement avec un instrument de nivellement qu'avec un cadre A conventionnel (Figure 56). Il n'est même pas nécessaire d'utiliser une mire. L'instrument doit être dirigé vers une perche positionnée sur le point de référence indiquant l'élévation de la courbe de niveau. Ensuite, on appose une marque claire sur la perche à la hauteur du repère de visée du milieu. Le géomètre placé derrière l'instrument donne des instructions à une deuxième personne. Celle-ci se déplace de point en

point avec la perche, tandis que le géomètre lui demande d'aller " vers le haut " / " vers le bas " (ou " à droite " / " à gauche ").

La longueur de la coupe ou la taille de la zone couverte est limitée par la distance maximale pouvant être effectivement couverte par un instrument de nivellement, c'est-à-dire de 60 à 80 mètres en terrain découvert et plat. Le nivellement requiert toutefois une ligne de visée claire à hauteur du regard et la mire doit être visible à la hauteur du repère de visée du milieu. C'est pourquoi, toute végétation ou différence de hauteur de plus d'un mètre risque de réduire considérablement la distance sur laquelle on peut mesurer ou établir des hauteurs.

Procédure de boucle fermée

Si plusieurs stations s'avèrent nécessaires pour couvrir une zone ou pour parcourir une distance entre deux points, la mesure en visée avant d'une station doit être mise en relation avec la mesure en visée arrière de la station suivante, voir figure 73.

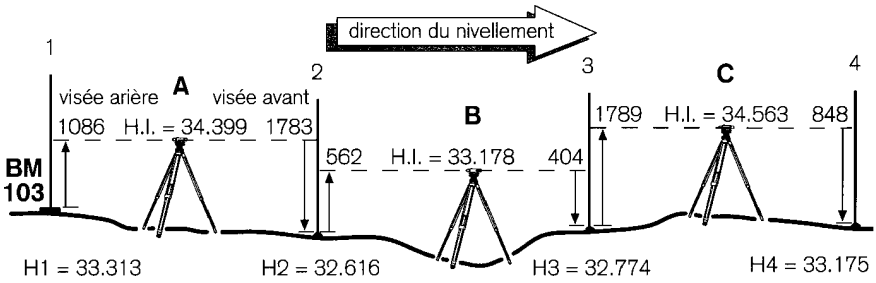
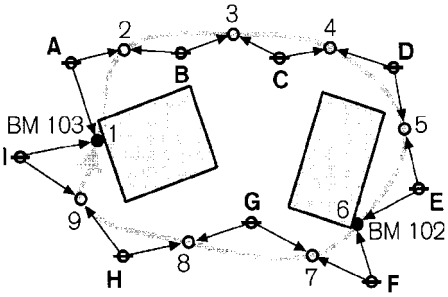


Figure 73 : Les trois premières stations (A,B,C) d'une série.

La dernière visée avant de la série de stations doit se faire en direction d'un autre point de référence ou en direction du point de référence sur lequel la mesure de la première visée arrière a été réalisée, voir figure 74. L'utilisation d'un formulaire très bien structuré est une condition indispensable pour conserver une vue d'ensemble et un certain contrôle sur la procédure de nivellement en boucle fermée. Vous trouverez un exemple très détaillé à la fin de ce chapitre. Toutes les données mesurées qui y figurent proviennent d'un nivellement en boucle

fermé réellement effectué. Seul le contexte a été modifié. L'explication étape par étape ci-dessous renvoie à cet exemple.



Une boucle fermée est constituée d'une série de mesures de stations consécutives (A-I). La première visée arrière et la dernière visée avant sont dirigées vers un point de référence. Le croquis montre deux types de fermeture : le retour au point de référence du départ (BM103) et la fermeture sur un autre point de référence (BM102). Les numéros renvoient à l'exemple des fig. 76 et 77.

Figure 74 : Croquis des mesures en boucle fermée.

- Étape 1 : positionnement de l'instrument à une position convenable (" station ") Instrument à la première station A, voir figure 73 & figure 74.
- Étape 2 : élimination de la parallaxe et réglage de la netteté du télescope. Voir figure 67 & figure 68.
- Étape 3 : mise à niveau de la ligne de visée. Voir figure 63 - figure 66.
- Étape 4 : positionnement de la mire sur le point de référence (lecture au point 1 en visée arrière).
  Mire sur le point 1 qui est BM103 (point de référence). Valeurs lues : 1 086 mm (repère de visée du milieu), 1 272 & 901 mm (traits stadimétriques).
- Étape 5 : vérification de la lecture en visée arrière, calcul de la longueur (1272+901)/2 = 2173/2 doit être égal à 1086 +/- 1 mm (voir figure 71 & figure 72) ; si ce n'est pas le cas, recommencer les lectures et corriger les résultats jusqu'à ce que cette condition soit remplie. La longueur de la visée arrière est égale à : 1272 - 901 = 371 mm fois 100 = 37,1 m.
- Étape 6 : déplacement de la mire au point suivant (lecture en visée avant au point 2).

La longueur de la visée avant est de préférence presque égale à celle de la visée arrière précédente. Il est donc recommander de compter ses pas pour équilibrer les deux distances. Mesures lues : 1783, 1913 & 1651.

- Étape 7 : vérification de la mesure lue en visée avant. Calcul de la longueur et des hauteurs (1913+1651)/2 = 3564/2 remplit la condition (égal à 1783 +/- 1 mm).
  La longueur de la visée arrière est égale à : 1913-1651 = 262 mm x 100 = 26,2 m. Les visées d'une longueur respective de 37,1 & 26,2 m, ne sont donc pas équilibrées.
  Hauteur de la ligne de visée : H.I. = 33,313 (m) + 1086 (mm) = 34,399 m. (Voir figure 62).
  Différence de hauteur entre le point 1 et le point 2 : 1086-1783 (mm) = -0,697 (m), ce qui implique une " chute " dans l'élévation. On ajoute 10,000 m et on remplace -0,697 par 10,000-0,697 = X9,303 (m).
- Étape 8: établissement à la station suivante et répétition des étapes 1 à 7.
- Étape finale : vérification du respect de deux conditions.
  Lorsque la boucle de nivellement est refermée, il faut que deux conditions soient remplies :
  (1) La somme des longueurs de toutes les visées arrières doit être égale à celle des visées avant avec une marge de +/- 5%. Si cette condition est respectée, cela annulera un alignement décalé de la ligne de visée (lorsqu'elle n'est pas à niveau), voir figure 73 & figure 75.
  (2) La hauteur du point de référence où la première visée arrière a été réalisée, plus la somme de toutes les " hausses " et " baisses " doit être égale à la hauteur du point de référence où la dernière visée avant a été réalisée, voir figure 77. Cette condition ne sera jamais remplie à 100%. La variation tolérée dépend de la précision requise et de la longueur de la boucle, voir la section ci-dessous.

4.4 Prévention des erreurs et précision

On utilise un support de mire pour les points intermédiaires entre les points de référence afin de s'assurer que la mire reste exactement à la même hauteur lorsque l'instrument est déplacé de la station A à la station B, voir figure 68. Le support n'entraîne pas d'erreur de mesure car sa propre hauteur est annulée, comme il est possible de le constater en élevant le support au point 2 de 123 mm par exemple (Figure 62). Mais ...

... ne pas utiliser de support pour la mire sur un point de référence ...

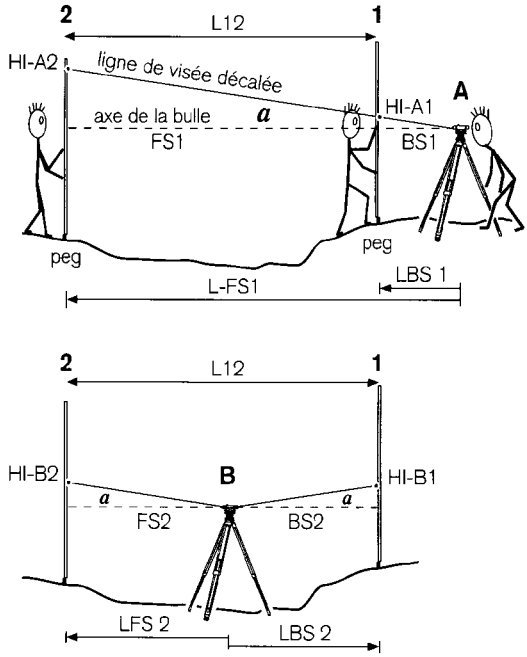
... parce que la hauteur du support ne sera pas annulée, à moins que ce dernier ne soit utilisé à la fois au début et à la fin de la boucle.

Vérification régulière de l'alignement de l'instrument (le test des deux piquets)

La ligne de visée d'un instrument de nivellement doit être alignée soit parallèlement à l'axe de la bulle (pour les niveaux à bulle), soit perpendiculairement au fil à plomb (pour les niveaux automatiques). Comme il n'est pas possible de déterminer directement si cette condition est remplie, il faut vérifier régulièrement l'alignement de l'instrument en réalisant le test des deux piquets (Figure 75).

La précision dépend largement de bonnes méthodes de travail

Le nivellement à partir d'une position unique permet d'atteindre une précision supérieure à 10 mm par 100 m de longueur (ce qui est environ la distance maximale possible) Le nivellement en boucle fermée est conçu pour couvrir de plus longues distances. Plus la somme des longueurs est élevée, moins l'appréciation de la hauteur sera précise. Mais une évaluation approfondie de la précision du nivellement en boucle fermée sortirait du cadre de cet Agrodok. On peut partir du principe que la précision est de 1,5 mm par série de visée avant et arrière, jusqu'à une longueur maximale d'1 km.



1. On peut vérifier l'alignement de la ligne de visée en mesurant la différence de hauteur entre deux piquets (où points de référence), séparés l'un de l'autre d'environ 50 m. Il faut que deux stations A et B soient occupées.
2. **L'effet d'une ligne de visée décalée s'annulera dans les résultats des mesures, si la somme des longueurs des visées arrières est égale à celle des visées avant, comme le montre la figure ci-jointe. C'est pourquoi la hausse ou la baisse obtenue à la station B sert de référence au résultat obtenu à la station A.**
3. Pour un instrument de précision moyenne bien réglé, la différence entre les deux résultats ne devrait pas excéder 0,5 mm par 10 m, soit 2.5 mm dans cet exemple. (Nous n'aborderons pas la possibilité de réglage de l'instrument).

Figure 75 : Un " test des deux piquets " pour vérifier l'alignement d'un instrument de nivellement

Figure 76 : Example

Project: Agrodok 6 — 1 de: 1

Nivellement de: El Gouna Est 32
à: El Gouna Est 32

Instrument: Wild Nl2
Numéro de série: 123456

Date: 10 Decembre
Arpenteur: Lamine ben Amor

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
obs.		**central**		**H.I.**	**H.pt.**	**Vis. Arr.**		**Vis. Ava.**		**distance**		**asc.**	**soustr.**	**azim.**	**remarque**
In.	Mi.	Vis. Arr.	Vis. Ava.			sup./inf.	− / +	sup./inf.	− / +	V. Ar./+	V. Av./+	(desc.)			
A	1	1086			33.313	1272	371	1913	262	37.1	26.2				BM 103: 33.313
	2		1783	34.399		901	2173	1651	3564	37.1	26.2	-0.697	X9.303		
B	2	562			32.616	854	584	651	495	58.4	49.5				
	3		404	33.178		270	1124	156	807	95.5	75.7	0.158	0.158		
C	3	1789			32.774	1883	189	1054	412	18.9	41.2				
	4		848	34.563		1694	3577	642	1696	114.4	116.9	0.941	0.941		
D	4	1097			33.715	1172	149	796	136	14.9	13.6				
	5		728	34.812		1023	2195	660	1456	129.3	130.5	0.369	0.369		
E	5	539			34.084	635	192	394	256	19.2	25.6				BM 102: 34.085
	6		266	34.623	(34.085)	443	1078	138	532	148.5	156.1	0.273	0.273		difference -1 mm
F	6	2049			34.357	2161	224	1193	262	22.4	26.2				
	7		1116	36.406		1937	4098	1040	2233	170.9	171.4	0.933	0.933		
G	7	2063/2			35.290	2251	378	1906	518	37.8	51.8				
	8		1647	37.353		1873	4124	1388	3294	208.7	222.2	0.416	0.416		
H	8	107			35.706	332	(**)450	3015	274	45.0	27.4				(*) repere inf. pas visible
	9		2876/8	35.813		(*)107	(*) ! ! !	2741	5756	253.7	249.6	-2.769	X7.231		(**) 2 x (332-107)
I	9	1441			32.937	1653	424	1265	399	42.4	39.9				BM 103: 33.313
	1'		1066	34.378		1229	2882	866	2131	296.1	289.5	0.375	0.375		
	1'	10733			33.312								XX19.999		XX indiques soustraction de 2 x 10 m
	1		10734		33.313								20.000		
		- 1			- 0.001								- 0.001		BM 103: 33.313 difference -1 mm

Figure 77 : Example (suite)

6I16 COMMENCE à point de référence BM 103

1I2 observations pour visée arrière (Vis. Arr.) and visée avante (Vis. Ava.) in.: instrument à position A st.: mire à position 1 (Vis. Arr.) et a position 2 (Vis. Ava.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
obs.		central		H.I.	H.pt.	Vis. Arr.		Vis. Ava.		distance		asc. (desc.)	soustr.	azim.	remarque
In.	Mi.	Vis. Arr.	Vis. Ava.			sup./inf.	– / +	sup./inf.	– / +	V. Ar./+	V. Av./+				
A	1	1086			33.313	1272	371	1913	262	37.1	26.2				BM 103: 33.313
	2		1783/2	34.399		901	2173	1651	3564	37.1	26.2	-0.697	X9.303		
	2				33.616										

Première Visée Arrière

3 Vis. Arr. lecture de mire: repère central (1086 mm)
7 et: repère supérieur (1272); repère inférieur (901)
8 soustraction des lectures Vis. Arr.: 1272 - 901 = 371 (mm)
addition des lectures Vis. Arr.: 1272 + 901 = 2173 (mm)
8I3 contrôle: moitié de 8 (2173) égale à 3 (1086) +/-1 mm ???
5I6 calculation du hauteur de H.I: 33.313 + 1.086 = 34.399 (m)
8I11 calculation de la distance Vis. Arr.: 371/10 = 37.1 (m)

Première Visée Avante

4 Vis. Ava. lecture de mire: repère central (1783 mm)
9 upper hair (1913); lower hair (1651)
10 soustraction des lectures Vis. Ava.: 1913 - 1651 = 262 (mm)
addition des lectures Vis. Ava.: 1913 + 1651 = 3564 (mm)
10I4 contrôle: moitié de 10 (3564) égale à 4 (1783) +/-1 mm ???
5I6 calculation du hauteur H.pt. 2: 34.399 - 1.783 = 33.616 (m)
10I12 calculation de la distance Vis. Ava.: 262/10 = 26.2 (m)

Première différence (ascension ou descente)

3I4I13 calculation de la différence: 1086 - 1783 = –0.697 (m) --> descente
14 quand descente addition de 10.000 (m): –697 + 10.000 = X9.303

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	9		2876/8	35.813		(*)107	(*)- - -	2741	5756	253.7	249.6	-2.769	X7.231		
I	9	1441			32.937	1653	424	1265	399	42.4	39.9				BM 103: 33.313
	1'		1066	34.378		1229	2882	866	2131	296.1	289.5	0.375	0.375		
	1'	10733			33.312								XX19.999		XX indiques soustraction de 2 x 10 m
	1		10734		33.313								20.000		
	1'-1	- 1			- 0.001								- 0.001		

6I16 PREND FIN à point de référence BM 103

6I14	**contrôle total 3 – total 4 = H.pt. Fin – H.pt. Début:**	10733 – 10734 = –1 (mm) = 33.312 – 33.313 = –0.001 (m)	**--> OK**
11I12	**contrôle total 11 – total 12 faut être < 5%:**	296.1 – 289.5 = 6.6 < (6.6/290) x 100 = 2.3%	**--> OK**
3I4I14	**contrôle H.pt. Fin – H.pt. Début = total asc./desc. du Début au Fin:**	–0.001 (m) = –0.001 (m)	**--> OK**

5 Une bonne pratique de la topographie, résumé

La règle la plus importante qui recouvre toutes les autres est la suivante :

Suivre la procédure indiquée à la lettre

Les règles à suivre, les recommandations, les choses à faire et à ne pas faire présentées ci-dessous sont loin d'être complètes, mais elles soulignent clairement qu'une bonne pratique de la topographie est d'abord et avant tout une question d'implication personnelle et de sens des responsabilités. Sans la mentalité requise, c'est une illusion d'espérer effectuer un bon travail de topographie.

Quelques règles de base à suivre

Planifiez tout le travail lié à l'étude topographique. Il comprend trois phases : la préparation du travail sur le terrain, la prise des mesures sur le site et le traitement des données mesurées. Pour prendre vos notes, utilisez des formulaires standards afin que les données et les résultats soient présentés d'une manière soignée, bien organisée et compréhensible pour les autres. (Sec. 2.1 à 2.4)

Lors du chaînage, effectuez toutes les mesures deux fois pour éviter les erreurs. Des mesures précises et exemptes d'erreur ne suffisent pas à garantir la précision. Pour obtenir un résultat fiable, il est indispensable d'intégrer une redondance suffisante au moyen de mesures surnuméraires. (Sec. 2.5 et Sec. 3.4)

Lors du nivellement avec un instrument: (1) placez toujours la mire sur un support solide et arrondi aux points intermédiaires ; (2) veillez à ce que les visées arrière et avant aient la même longueur totale ; (3) commencez et terminez sur un point de référence (4) et vérifiez si la

somme des augmentations et des baisses est bien égale à la différence entre les hauteurs de référence. (Chap. 4)

Vérifiez et entretenez régulièrement tout l'équipement. Nettoyez et séchez chaque élément avant de le ranger. Vérifiez l'alignement du niveau de charpentier et de tout instrument de nivellement avant de vous en servir. (Sec. 3.6 et Sec. 4.4)

La prise de notes : opération fondamentale

La prise de notes est l'activité la plus importante de l'étude topographique. Ne vous fiez jamais à votre mémoire. Notez toutes les informations immédiatement et avec précision dans un cahier cartonné plutôt que sur une feuille volante. Utilisez un crayon bien taillé et à la mine dure : les notes résisteront à l'eau et cela évitera qu'elles se décolorent ou deviennent illisibles au bout d'un certain temps. Ne les écrivez pas avec un stylo (ils font des taches), ni avec un feutre (ils ne résistent pas à l'eau).

Ne faites pas d'économie sur le papier ; aérez vos notes. Elles doivent rester lisibles et bien organisées également pour d'autres gens. Vérifiez vos données de mesure de toutes les façons possibles avant d'en commencer d'autres ou de quitter le site. Évitez d'effacer ou de changer un nombre. Il est préférable de le barrer et d'écrire le nombre correct au-dessus.

Le carnet contenant toutes les notes, il mérite d'être traité avec soin. Rangez-le dans un endroit sûr. S'il était abîmé ou perdu, votre travail le serait aussi et il faudrait le recommencer, au moins en partie.

Le chaînage : restez bien aligné, tirez et décrivez l'opération

Gardez le mètre à ruban bien tendu et sous tension. Tirez fort lorsque vous avez le moindre doute quant à la tension. Restez bien aligné lorsque vous mesurez une distance supérieure à la longueur du ruban.

Prenez toutes les mesures au moins deux fois pour être sûr de repérer les erreurs. Enregistrez toutes les mesures dans le carnet de terrain

exactement et telles que vous les avez observées. Faites des croquis suffisamment grands pour indiquez clairement ce que vous avez mesuré et de quelle façon. Vérifiez les résultats à l'aide de mesures surnuméraires. Vérifiez que vous avez bien effectué toutes les mesures avant de quitter le site.

Le nivellement avec un instrument : vérifications et précautions

Vérifiez que la ligne de visée est bien à niveau avant de lire la mire. Assurez-vous que la mire reste immobile et verticale pendant la lecture. Assurez-vous que le réticule (les repères de visée) soit visible sans parallaxe et que la vue de la mire soit parfaitement nette. Ne déplacez pas la mire ni l'instrument au point suivant avant d'avoir vérifié si les résultats de la moitié de la somme des traits stadimétriques est bien égale à la lecture du repère de visée du milieu. Fermez toujours la boucle. Ne quittez pas le site avant d'avoir effectué toutes les vérifications mentionnées au figure 76 et figure 77.

Bibliographie

Bien que toute l'agriculture soit basée sur le même principe et ait pour but la production d'aliments, il y a d'énormes différences entre les diverses méthodes d'agriculture. A cet égard, la topographie ressemble à l'agriculture. Bien que ses principes de base mathématiques et physiques soient toujours les mêmes, sa mise en œuvre dans la pratique peut varier considérablement selon les types d'application ou les " écoles ".

La topographie est une discipline qui se caractérise par des " atmosphères " apparemment différentes, la formation des géomètres étant centrée sur le plan national, voire régional. On trouvera un manuel de topographie dans tout pays ou région où cette discipline est enseignée. Il abordera les pratiques et les normes locales.

Pour des raisons évidentes, le contenu de cet Agrodok est influencé par des manuels uniquement disponibles en néerlandais. Cependant, ce parti pris national est largement neutralisé par l'utilisation de deux autres manuels traitant de topographie, l'un américain, l'autre britannique et qui servent tous deux de référence complémentaire.

Le manuel suivant est vivement recommandé à ceux qui désirent des informations pratiques en profondeur sur la topographie appliquée à la construction :
Wesley G. Crawford, **Construction Surveying And Layout: a step-by-step field engineering methods manual**. 1994, pp. 730, P.O.B Publishing Company, Canton, USA. ISBN : 0-9624124-3-0.

Celui-ci, plus avancé, traite de la topographie en général :
A. Bannister, S. Raymond & R.Baker, **Surveying**. 1992 (6th ed), pp. 494, Longman Scientific & Technical, Essex, United Kingdom. ISBN : 0-470-21845-2.

Glossaire

Altitude	Angle vertical situé entre le plan de l'horizon et la ligne menant à l'objet étudié ou implanté.
Angle	Différence de direction entre deux lignes convergentes, sur un plan vertical ou horizontal.
Angle, azimut	Angle horizontal dans le sens des aiguilles d'une montre qui est situé entre la direction d'une ligne et une direction de référence donnée.
Angle, vertical	L'angle d'élévation au-dessus («plus») ou en dessous («moins») de l'horizon.
Angle vertical	Angle mesuré vers le haut ou vers le bas en partant de l'horizon.
Axe de la bulle	La ligne horizontale tangente à la surface supérieure de la bulle centrée d'un niveau tubulaire.
Boucle fermée	Une série de mesures consécutives qui se terminent au point de départ.
Carte	Représentation sur papier, à échelle réduite, des caractéristiques d'une partie de la surface de la terre, autrement dit d'un site de construction.
Chaînage	Opération consistant à mesurer une distance sur le sol à l'aide d'une chaîne ou d'un mètre à ruban.
Clinomètre	Instrument destiné à mesurer les angles de pente.

Correction	Valeur appliquée à une mesure afin de réduire l'effet des erreurs.
Courbe de niveau	Ligne imaginaire située sur le plan d'un site et qui relie les points de même élévation.
Degré	Unité de mesure des angles égale à 1/360ème d'un cercle. Unité de mesure de la température.
Direction	Parcours ou ligne permettant d'atteindre une destination.
Élévation	Angle vertical situé au-dessus de l'horizon. Nivellement : la distance verticale (longueur) d'un point au-dessus ou en dessous d'une hauteur de référence.
Équerre d'arpenteur	Instrument simple ayant la même fonction que l'équerre optique.
Équerre optique	Deux miroirs (prismatiques) placés à des angles opposés de 45° de la ligne de visée permettent simultanément le positionnement sur une ligne reliant deux points visibles et la projection d'un angle de 90° à partir de cette ligne.
Erreur	Différence existant entre la valeur observée ou calculée d'une quantité et la valeur réelle dérivée d'une condition mathématique ou d'une donnée de référence.
Erreur (aléatoire)	Erreur de nature accidentelle et qui existe dans toutes les mesures. Plus l'erreur est grande, moins elle se produira fréquemment.

Erreur (bévue ou faute)	Grande divergence par rapport à la valeur réelle d'une mesure. Il ne s'agit pas d'une erreur de mesure normale (aléatoire), mais de la conséquence d'une faute.
Erreur (systématique)	Erreurs qui se produisent avec le même ordre de grandeur et le même signe pour chaque mesure. On peut l'éliminer par une opération mécanique de l'instrument ou à l'aide d'une formule mathématique.
Erreur de fermeture	Angles : différence entre la somme d'une série d'angles et sa somme théoriquement exacte. Azimut : différence entre deux valeurs de l'azimut d'une ligne, obtenues par des levés topographiques ou des itinéraires différents. Nivellement : différence entre deux valeurs de l'élévation du même point de référence, obtenues par des levés topographiques ou des itinéraires différents.
Etalonnage	Comparaison d'un appareil avec un objet de référence, pour corriger ou bien compenser des erreurs, ou à des fins d'enregistrement.
Études topographiques	Mesures prises pour localiser des objets et l'élévation de points à la surface de la terre.
Fiabilité	Sensibilité d'un processus de mesure aux erreurs non-aléatoires, telles que les bévues ou les fautes. Dépend du degré de redondance appliqué dans une construction géométrique.

Fiche	Tige en métal qui sert à marquer les points lorsqu'on utilise un ruban pour le chaînage. Utilisées par paquets de 11 pour la mesure de longueurs importantes.
Fil à plomb (ligne du)	1) direction verticale ; ligne perpendiculaire à un plan horizontal. 2) Ficelle munie d'un poids à son extrémité qui sert à vérifier si un objet est vertical.
Hauteur	La dimension de la direction du zénith.
Hauteur de l'instrument	(H.I.) Nivellement différentiel : élévation de la ligne de visée du télescope au-dessus de la hauteur de référence. (h.i) Lors de l'utilisation d'un instrument optique : hauteur du télescope au-dessus de la station.
Horizon	plan horizontal artificiel.
Horizontal	Perpendiculaire à la verticale (ligne du fil à plomb) à un point donné. Remarque : un plan horizontal n'est PAS la même chose qu'une surface de niveau ; le premier ne présente aucune courbe, contrairement à la deuxième. Pour des distances inférieures à quelques centaines de mètres, «horizontal» et «de niveau» sont pratiquement équivalent (mais pas égaux).
Jalon	Ou jalon d'arpenteur. Une tige droite et fine en bois ou en métal de longueur variable et munie d'une pointe en métal. Utilisée comme objet de visée pour mesurer l'élévation de points le long d'une ligne.
Ligne de base	1) Triangulation : côté d'un des triangles d'une série, établi avec la plus grande attention et qui sert de point de départ au

	tention et qui sert de point de départ au calcul de la longueur des autres côtés. 2) Construction : ligne qui sert de ligne de référence pour la mesure des longueurs et des angles sur le plan d'une construction.
Ligne de visée	Ligne partout d'un instrument à travers lequel on peut voir des objets distincts. Ligne droite entre deux points.
Longueur	Dimension d'une (partie) d'une ligne droite exprimée dans une unité physique, telle qu'un mètre ou un yard.
Marque ou monument	Structure physique marquant la location d'un point topographique.
Mètre à ruban	Ruban d'acier muni de graduations qui sert à mesurer des distances. Même usage que la chaîne.
Mire graduée (ou jalon)	Jalon gradué utilisé avec un niveau (instrument) qui permet de mesurer : (1) la hauteur de la ligne de visée ; et (2) la longueur horizontale séparant l'instrument du point où est située la mire.
Niveau	1) Synonyme d'horizontal. 2) Un appareil tubulaire ou circulaire indiquant lorsqu'une ligne, un plan ou un instrument est à la verticale. 3) Instrument de nivellement.
Niveau (d'une mire)	Accessoire, sous la forme d'un niveau circulaire, utilisé avec une mire graduée (stadia) ou un jalon pour s'assurer d'une position verticale.
Nivelette	Planche en bois fixée sur un bâton horizontal à une hauteur voulue. Sert à mettre

	en place des points de hauteur le long d'un angle de pente ou gradient.
Nivellement différentiel	Le processus de nivellement consistant à déterminer la différence d'élévation entre deux points.
Nivellement d'un profil	Détermination de l'élévation d'une série de points le long d'une ligne définie.
Nivellement indirect	Mesure de l'angle vertical et de la longueur sur pente pour déterminer la différence d'élévation entre l'instrument et un point.
Nord (magnétique)	Direction de référence lors de l'utilisation d'une boussole pour mesurer des angles.
Notes de terrain	L'enregistrement permanent et détaillé des mesures et des observations sur le terrain.
Parallaxe	Mouvement apparent du réticule provoqué par le mouvement de l'oeil.
Pente	Surface (naturelle) inclinée, excavation ou talus. L'angle selon lequel une surface s'écarte de l'horizontale.
Pente (gradient)	Inclinaison d'une surface ou d'un terrain, dont la montée et la déclivité sont exprimées par un rapport à la distance horizontale.
Pieu	Poteau en bois ayant la même fonction qu'un piquet, mais qui est plus grand.
Piquet	Bâton en bois d'une longueur d'environ 30 cm et muni généralement d'une partie transversale de 3 ou 4 cm. Sert à marquer provisoirement les points topographiques ; plus petit qu'un pieu.

Plan	Surface sans courbure. Une ligne droite reliant n'importe lequel de ses points se trouve entièrement contenue dans cette surface.
Plan de construction	Étude effectuée pour localiser les structures prévues sur le sol.
Planches de repère	Planches placées aux coins d'un bâtiment pour tendre les fils ou les ficelles marquant les limites de la construction.
Relèvement (d'une carte)	Transfert de données topographiques de notes de terrain sur du papier.
Point	Synonyme de station.
Point de référence	Un objet relativement permanent dont on connaît l'élévation et qu'on utilise comme hauteur de référence pour le nivellement.
Point pivot	Point temporaire dont l'élévation est déterminée par un nivellement différentiel.
Précision	Rapprochement d'une mesure par rapport à une autre, voir explication d'erreur aléatoire. Indique le degré de finesse des mesures. Comprend deux aspects : exactitude et fiabilité.
Profil	Représentation graphique d'une ligne sur la surface de la terre obtenue par nivellement et relèvement.
Prolongement	Allongement d'une ligne dans la même direction.
Rajustement des données	Permet de faire une moyenne des erreurs aléatoires qui se produisent dans toutes les mesures. Procédé utilisé pour supprimer les incohérences dans les données mesu-

	rées ou calculées, à l'aide de redondance dans les mesures ou d'un réseau de contrôle.
Redondance	Dans une construction géométrique : nombre de valeurs mesurées (superflues) dépassant le nombre minimum de valeurs théoriquement nécessaires pour réaliser une construction.
Relèvement	L'angle dans le sens des aiguilles d'une montre, ou inverse, mesuré du nord ou du sud et utilisé pour décrire la direction d'une ligne.
Réseau de contrôle	Peut être horizontal et vertical. Série de points reliés par des longueurs et des directions (ou des hauteurs), qui sert de structure commune à tous les points du site.
Réticule	Ensemble de fils ou de lignes gravées placés dans un télescope pour permettre la visée. Voir aussi traits stadiométriques.
Station	Un point dont on a déterminé la location par des méthodes de topographie et qui est généralement marqué sur le sol.
Surface de niveau	Surface dont tous les points sont à la même élévation et perpendiculaire à la direction (verticale) de la gravité.
Topographie	L'art et la science de déterminer la position relative de points sur, au-dessus ou en dessous de la surface de la terre, à l'aide de mesure d'angles, de distances et d'élévations.

Traits stadimétriques	Réticule (horizontal) supplémentaire dans l'optique d'un instrument, un niveau par exemple. On calcule l'interception des traits stadimétriques sur la mire graduée, ce qui permet de déterminer la longueur de l'instrument à la mire.
Vertical	Direction dans laquelle s'exerce la force de gravité (ligne du fil à plomb).
Visée	Système permettant de viser à l'aide d'un instrument tel qu'une boussole ou un instrument de nivellement.
Visée arrière (BS)	Pendant la mesure d'angles : la visée sur un point considéré comme la direction de départ («de») de l'angle. Nivellement : visée sur la mire de niveau tenue à un point dont on connaît l'élévation, permettant de déterminer la hauteur de l'instrument (H.I).
Visée avant (FS)	Angles : visée effectuée sur la direction d'arrivée ("à") de l'angle. Nivellement : la visée effectuée sur la mire de niveau afin de déterminer l'élévation d'un point.
Zénith	Point vertical situé au-dessus d'un point donné sur terre.